



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY PLASTOVÉHO KRYTU ELEKTROPŘÍSTROJE

DESIGN OF MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR PLASTIC COVER ELECTRICAL DEVICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. KAREL KOČÁREK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. BOHUMIL KANDUS

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Karel Kočárek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh technologie výroby plastového krytu elektropřístroje

v anglickém jazyce:

Design of manufacturing technology for plastic cover electrical device

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě zadaného tvaru plastového dílce vypracovat řešení na technologii vstřikování plastů do forem, provést návrh technologického postupu a konstrukce vstřikovací formy včetně potřebných výpočtů.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je komplexní návrh technologie výroby na úrovni technologického postupu a konstrukční výkresové dokumentace nástroje na kryt elektropřístroje z plastu podložený technicko-ekonomickým zhodnocením.

Seznam odborné literatury:

1. ŠTĚPEK, Jiří, Jiří, ZELINGER a Antonín, KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. vyd. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT 678.5(075.8).
2. SOVA, Miloš a Josef, KREBS. Termoplasty v praxi. 1. vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. (580, 425 s.). ISBN 80-86229-15-7.
3. ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1. vyd. Praha: Nakladatelství BEN, 2009. 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
4. MENGES, Georg and Paul, MOHREN. How to Make Injection Molds. 2nd ed. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1993. 558 s. ISBN 1-56990-062-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bohumil Kandus

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 19.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Kočárek Karel: Návrh technologie výroby plastového krytu elektropřístroje

V rámci této práce je zpracována rešerše na téma vstřikování plastů včetně rozboru vlastností některých druhů polymerních materiálů. Praktická část obsahuje návrh konstrukce vstřikovací formy pro zadanou součást, kterou je kryt elektropřístroje. Byly určeny technologické parametry procesu a byl stanoven vhodný stroj pro výrobu. Výpočet nákladů spojených s výrobou a určení výsledné ceny za jeden kus je řešen v ekonomickém hodnocení.

Klíčová slova: vstřikování plastů, forma pro vstřikování, polyamid

ABSTRACT

Kočárek Karel: Design of manufacturing technology for plastic cover electrical device

This thesis contains of theoretical part which deals with injection molding, properties of some polymer materials are included also. Design of plastic injection mold for cover of electronic device is presented in practical part. Manufacturing parameters and injection machine selection are specified with mold structure consideration. Production costs and the final price of the plastic part are calculated in economical evaluation.

Keywords: injection molding, injection mold, polyamide

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOČÁREK, Karel. *Návrh technologie výroby plastového krytu elektropřístroje*. Brno, 2015. 59s, 5 výkresů, 4 přílohy, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Bohumil Kandus.

PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

Datum

Bc. Karel Kočárek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Bohumilu Kandusovi, za rady poskytnuté v průběhu vypracování diplomové práce a především za čas strávený na konzultacích a celkově za jeho vstřícný přístup.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	10
1 ROZBOR SOUČÁSTI A ZPŮSOB VÝROBY	11
1.1 Způsob výroby	11
2 PLASTY A JEJICH VLASTNOSTI	14
2.1 Vlastnosti plastů	15
2.1.1 Polyamid (PA)	16
2.1.2 Polykarbonát (PC)	17
2.1.3 Polyoxymetylen (POM)	18
3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	19
3.1 Princip vstřikování plastů	19
3.2 Technologické parametry vstřikování	21
3.3 Vstřikovací stroje	23
3.3.1 Vybrané parametry vstřikovacích strojů	26
4 FORMY PRO VSTŘIKOVÁNÍ	27
4.1 Vtokový systém formy	28
4.1.1 Studený vtokový systém	28
4.1.2 Horký vtokový systém	30
4.2 Temperační systém formy	31
4.2.1 Konstrukce temperačního systému	31
4.3 Vyhazovací systém	34
5 NÁVRH KONSTRUKCE FORMY	35
5.1 Technologičnost tvaru součásti a jeho zaformování	35
5.2 Volba materiálu	37
5.3 Výpočet technologických parametrů a volba stroje	39
5.3.1 Technologické parametry	39
5.3.2 Posouzení parametrů a výběr stroje	40
5.4 KONSTRUKCE JEDNONÁSOBNÉ VSTŘIKOVACÍ FORMY	42
5.4.1 Vtoková soustava	43
5.4.2 Temperační systém	44
5.4.3 Vyhazovací systém	47
5.4.4 Princip uzavírání bočních tvárnic	48
5.4.5 Zajištění přesné polohy při uzavírání	50
5.4.6 Manipulační prvek	51
5.4.7 Materiály pro výrobu formy	51
5.4.8 Vyrobitelnost formy	52
5.4.9 Upnutí formy na stroj a odladění formy	53
6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	55
7 ZÁVĚRY	59

Seznam použitých zdrojů

Seznam symbolů a zkratek

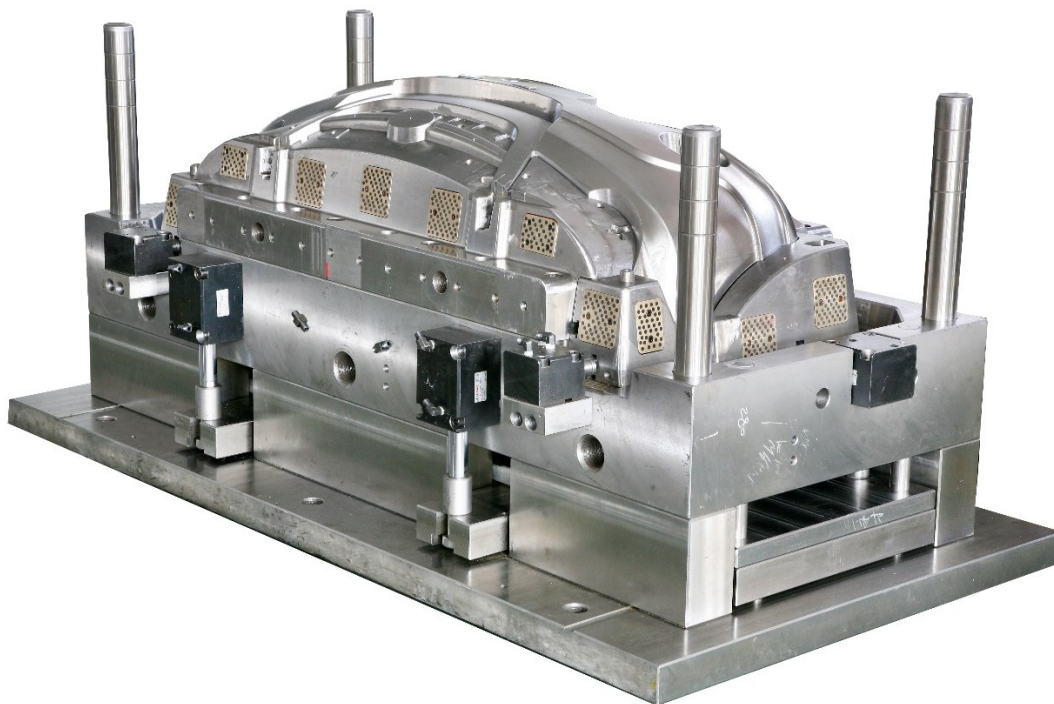
Seznam příloh

ÚVOD [2], [3], [32]

Rozvoj polymerních materiálů zažívá v posledních letech obrovský rozvoj, nejen po stránce chemické, kdy jsou neustále vyvíjeny sloučeniny s rozličnými vlastnostmi, ale současně s tím se posouvají kupředu technologie jejich zpracování. Plasty dnes najdeme téměř ve všech průmyslových odvětvích a nachází uplatnění i při výrobě konstrukčních nebo elektrotechnických dílů, které musí odolávat mechanickému a tepelnému namáhání. Největší část světové produkce plastů zaujímají termoplasty, jelikož jejich zpracování je relativně snadné a je možné použité výrobky recyklovat a opětovně z nich vyrábět nové.

Výrobky z plastů se na začátku svého největšího rozmachu, který byl ve druhé polovině 20. století, zapsaly do podvědomí lidí jako nepříliš kvalitní náhražky do té doby spolehlivých kovových materiálů. Důvod této reakce byl především zapříčiněn nedostatečným zvládnutím výrobních technologií a také úzkým výběrem plastů. Důležitou roli hrála také cena a ve snaze ušetřit byly mnohdy využívány polymery s nevyhovujícími parametry. Pochopitelně ani v současnosti se tomu nelze zcela vyhnout, ale vývoj ve všech směrech přípravy a zpracování plastů výrazně pokročil a tak i součásti produkované s ohledem na nízké výrobní náklady mají svou kvalitu.

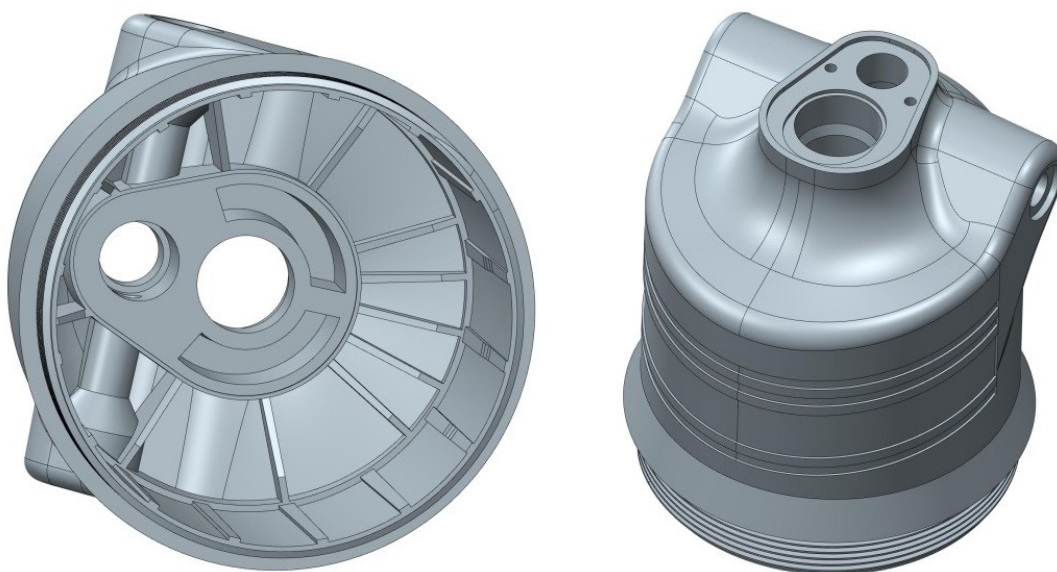
Ke zhotovení výrobků z polymerních materiálů existuje celá řada technologií, které umožní výrobu například tvarových profilů, fólií nebo vláken. Pro konstrukci strojních součástí jsou však podstatné především technologie zabývající se tvarově složitými díly s požadavkem na rozměrovou přesnost. Vstřikování plastů do kovové formy, je nejrozšířenějším způsobem, jak takové dílce produkovat. Jedná se v dnešní době již o plně automatizovaný proces, probíhající na vstřikovacích strojích, které dokáží připravit homogenní taveninu a dopravit ji do tvarové dutiny formy pod vysokým tlakem. Podstatou celé technologie je právě konstrukce formy, na jejímž správném návrhu závisí výsledná kvalita součástí. Jedná se o velmi komplexní systém, který musí zajistit rychlé naplnění celého objemu tvarové dutiny taveninou a následně po zchladnutí výstřik bezpečně vyjmout. Samozřejmě má i tento způsob výroby svá omezení a nelze jej použít ve všech případech, ale za všestrannost této metody hovoří využití například v automobilovém (obr. 1), leteckém nebo elektrotechnickém průmyslu.



Obr. 1 Ukázka tvárníku vstřikovací formy pro výrobu předního nárazníku osobního automobilu [35]

1 ROZBOR SOUČÁSTI A ZPŮSOB VÝROBY

Plastový kryt elektromotoru, je v tomto případě součást s poměrně složitou geometrií (obr. 2). Bude sloužit zároveň jako ochrana proti poškození komponent uvnitř, ale i pro přesné uložení některých z nich. Do otvoru v horní části krytu se zalisuje valivé ložisko, kterým bude procházet hřídel rotoru. Vnitřní válcová plocha s nízkými výstupky ve směru její osy slouží pro správné usazení statorových plechů. Na konci vnější válcové plochy je závit pro připojení elektromotoru k poháněnému zařízení. Mimo tyto funkční prvky, které se na součásti nacházejí, zde najdeme také žebra, plnící především roli výztuhy a celkově tedy zpevňují konstrukci. Vnější tvar je tvořený především oblými tvary s několika drážkami. Jedná se o pohledovou část, která byla navržena s určitým důrazem na estetickou stránku dílce a bude tedy třeba dbát při výrobě na eliminaci jakýchkoli vzhledových vad.



Obr. 2 Prostorový model řešeného krytu elektromotoru

Z hlediska použití je třeba zajistit kromě přesnosti funkčních rozměrů, definované výkresovou dokumentací dílce (viz přílohy), také určitou mechanickou odolnost. Kryt by měl být robustní a musí odolat mechanickému zatížení vzniklému při provozu upevněného motoru. Dále je třeba, aby byla dodržena odolnost proti otěru a nárazům, například v situaci, kdy by došlo k pádu nářadí na zem nebo v případě jiného druhu rázového namáhání.

Vzhledem k napájecímu napětí 230V vinutí statoru elektromotoru, které je v blízkosti stěn krytu, musí použitý materiál mít dostatečné elektroizolační vlastnosti. Zároveň by plast měl být samozhášivý, jinými slovy, by měl být odolný proti šíření plamene. Tyto požadavky budou na součást kladeny i za vyšší teploty, k jejímuž zvýšení dojde v důsledku provozu motoru uloženého uvnitř. Nebude se tedy jednat o použití v nikterak extrémním prostředí, kdy by se provozní teploty pohybovaly ve stovkách stupňů celsia. Zvýšenou pozornost není třeba přikládat ani vlhkostním podmínkám, ty se budou pohybovat rovněž ve standartních hodnotách.

1.1 Způsob výroby [5], [15], [29]

Volba vhodné výrobní technologie musí být realizována tak, aby bylo v jejich možnostech vyrobit co nejsnadněji a nejlevněji danou součást a dodržet přitom veškeré požadavky, které jsou na ni z hlediska konstrukce kladeny. Především je třeba splnit zadané přesnosti rozměrů. Technologie musí umožnit bez problémů zpracovat vybraný materiál, zajišťující součásti vlastnosti, které jsou pro aplikaci zásadní.

Dále je třeba, aby výroba byla co nejefektivnější a její časová náročnost byla volena s ohledem na termín dodání. V tomto případě je zadáno vyrobit dílec v sérii 100 000 kusů. Jelikož není pro kryt určen konkrétní plast, bude třeba také vyřešit otázku výběru toho nejvhodnějšího materiálu. Jako vstupní parametr k tomu poslouží popis dílce z kapitoly 1.

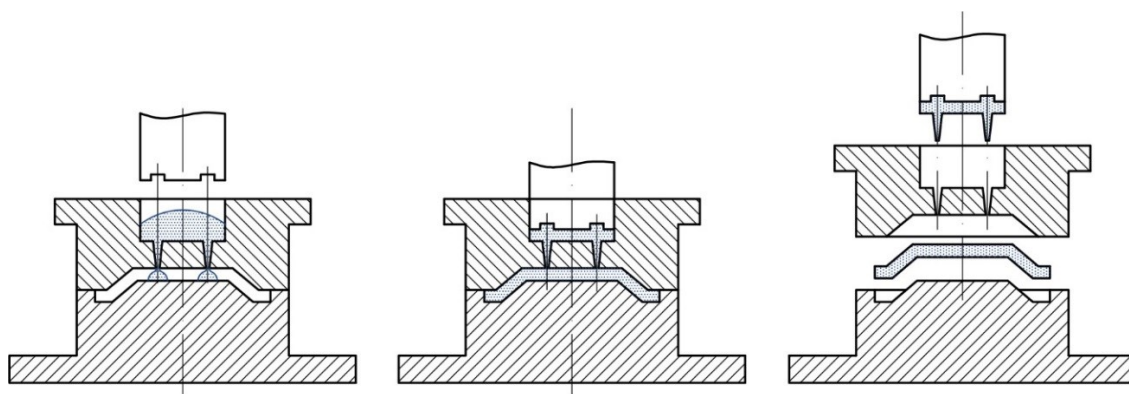
Pro výrobu plastových dílů existuje celá řada různých technologií. Pokud ovšem vyrábíme tvarově složitější součásti, připadají v úvahu pouze tvářecí technologie, které umožňují výchozí materiál přetvořit i do velice komplikovaných tvarů. Pro výrobu krytu lze uvažovat zpracování plastu lisováním nebo vstřikováním.

- **Lisování – přetlačování**

Pro řešenou součást je ze skupiny lisovacích technologií prakticky využitelná technologie nepřímého lisování, tzv. přetlačování. Jedná se o způsob výroby, kdy výsledný tvar dává výrobku forma. Ta obsahuje pomocnou přetlačovací komoru, ve které je materiál převeden do plastického stavu a pomocí pístu je skrze kanálky rozveden do tvarové dutiny formy. Princip metody je na obr. 3. Ohřátí polymerní směsi na správnou teplotu před zahájením lisování je velice důležité nejen z důvodu zlepšení kvality výlisku, ale je potom možné použít nižší lisovací tlak a zkrátit celkový čas výrobního cyklu. K ohřevu dochází jak v předehřívacích komorách, tak poté přeměnou mechanické energie na tepelnou v průběhu průtoku materiálu přes vtokové kanály.

Tato technologie je určena zejména pro zpracování reaktoplastů a kaučukových směsí a je využitelná pro zhotovení tvarově složitých dílců nejčastěji ve formách s vyšší násobností. Umožňuje vyrábět výlisky přesných rozměrů a je u nich také zajištěna vysoká homogenita materiálu. Tento způsob výroby bývá realizován především na hydraulických lisech s rychlostí zdvihu kolem $5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Složitost formy se řadí mezi hlavní nevýhody nepřímého lisování. Mezi další negativa patří velké množství materiálu zůstávajícího v pomocné dutině a ve vtokových kanálech. Doba vytvrzování reaktoplastů a větší množství operací poté prodlužují výrobní cyklus.

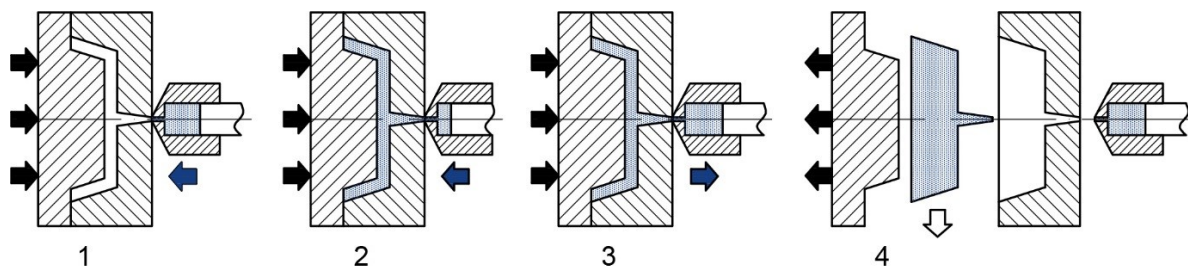


Obr. 3 Schéma přetlačování plastů [5]

- **Vstřikování**

Zpracování plastů vstřikováním taveniny do tvarové dutiny formy, je technologicky podobné nepřímému lisování. K roztavení zpracovávaného materiálu, nejčastěji v podobě granulátu, dochází v plastikační jednotce, která je součástí stroje. Po plastikaci je axiálním pohybem šneku nebo pístu, záleží na konstrukci vstřikovací jednotky, tavenina vstříknuta vysokou rychlostí do tvarové dutiny formy. Ta je v průběhu vstřikování zajištěna proti otevření velkou přidržovací silou. Následně musí ještě před vyhozením z formy dojít k ochlazení výstřiku. Schematicky je metoda naznačena na obr. 4.

V případě, že je vhodně navržena forma, není třeba výrobek dále opracovávat, jelikož dojde k oddělení vtokových zbytků již při jejím otevření. Vtoky je možné opět rozemlít do podoby granulátu a znovu vstříkovat. Tato skutečnost platí pouze v případě termoplastů.



Obr. 4 Schéma vstřikování plastů [20]

Vstřikování je v současnosti nejrozšířenějším způsobem pro výrobu plastových dílců a používá se téměř výhradně pro zpracování termoplastů. Jeho hlavní předností je možnost zhotovit výrobky s vysokou rozměrovou i tvarovou přesností a je možné k tomu využít velké množství materiálů s rozličnými vlastnostmi. Doba jednoho výrobního cyklu se pohybuje v řádu desítek sekund a je tak výrazně kratší, než u přetlačování. Tato technologie má však také nevýhodu v podobě složitosti a tedy i vysoké ceny formy a předurčuje ji tak pro velkosériovou výrobu.

Oběma uvedenými technologiemi je možné zhotovit tvarově složitou součást jako je řešený kryt elektromotoru. Vstřikování ovšem poskytuje značnou výhodu v rychlosti zpracování, jak již bylo uvedeno a také umožní výrobu jednodušší formy než by tomu bylo u přetlačování. Dalším parametrem, který hovoří pro tuto technologii, je obrovský rozvoj termoplastů, pro které je vstřikování vhodnější. Široké množství vyvinutých materiálů nám umožní výběr plastu s těmi nejvhodnějšími vlastnostmi pro zadaný díl.

2 PLASTY A JEJICH VLASTNOSTI [5], [27], [28]

Plasty jsou makromolekulární látky organického původu, které mají vnitřní strukturu tvořenou polymerními řetězci. Polymer vzniká v zásadě jednoduchou chemickou reakcí, při níž se z nízkomolekulárních látek nazývaných monomery stávají makromolekulární látky (polymery). Pro přípravu polymerů se používají tři základní chemické reakce a to polymerace, polykondenzace a polyadice. Vznikají tedy dlouhé řetězce tvořené z opakujících se jednotek (monomerů). Pokud je ve struktuře pouze jeden typ monomeru jedná se o tzv. homopolymery. Jestliže jsou makromolekuly tvořené ze dvou a více odlišných jednotek hovoříme pak o kopolymerech. Typickým zástupcem první skupiny je polyetylén, který je vyráběn polymerací etylenových molekul C_2H_4 , kdy samotný monomer (etylén) má dvojnou vazbu. Ta je při polymeraci rozštěpena a atomy uhlíku jsou schopny vytvořit jednoduchou vazbu s další molekulou a tímto principem utvářet celý řetězec.

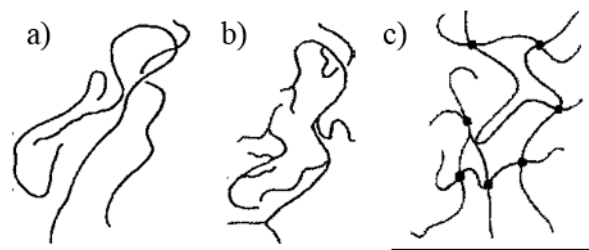
Pokud budeme hodnotit molekulární strukturu plastů, je důležité se zaměřit na tvar vzniklých řetězců, které se mohou tvořit ve třech odlišných druzích. Existují tedy makromolekuly lineární, rozvětvené a zesíťované.

- **Lineární makromolekuly**

Jsou schopny souvisleji vyplňovat prostor a polymer má poté vyšší hustotu. Lépe krystalizují a plasty s těmito molekulami mají vysokou houževnatost. (obr. 5a)

- **Rozvětvené makromolekuly**

Mají nižší hustotu, jelikož se makromolekuly nemohou oproti lineárním k sobě dostatečně přibližovat, což je zapříčiněno bočními větvemi. Z důvodu rozvětvení je u nich nižší stupeň krystalinity a také tekutost v roztaveném stavu. Mechanické vlastnosti plastů s těmito molekulami bývají také nižší. (obr. 5b)



Obr. 5 Schématické znázornění makromolekul [20]

- **Zesíťované makromolekuly**

Vznikají propojením řetězců prvního nebo druhého uvedeného druhu za pomoci vazeb. Tím dochází ke vzniku prostorové sítě, která způsobuje, že polymer již není znovu tavitelný, ale je odolný proti vyšší teplotě a má vysokou tvrdost. (obr. 5c)

Z hlediska nadmolekulární struktury klasifikujeme stupeň uspořádanosti makromolekul. Podle tohoto kritéria rozdělujeme plasty na amorfní a semikrystalické. O amorfních hovoříme, když je struktura chaotická bez jakéhokoli uspořádání. Pokud je naopak ve struktuře určitý stupeň uspořádanosti jedná se o plast semikrystalický. V reálných podmínkách krystalizace neprobíhá v celém objemu materiálu stejně, což má za následek, že určité procento polymeru zůstává amorfní. Stupeň krystalinity nám potom udává množství krystalické fáze ve struktuře. Čistě amorfní plasty jsou průhledné a mají obecně nižší hustotu. Pro semikrystalické je charakteristická vyšší pevnost, tvrdost a nižší houževnatost. V tabulce 1 je uveden stupeň krystalinity a hodnoty hustoty pro některé plasty.

Základní rozdělení plastů z hlediska jejich chování při běžné a zvýšené teplotě, je na termoplasty a reaktoplasty. Samostatnou skupinou jsou elastomery, které se vyznačují tím, že je lze za běžných podmínek malou silou výrazně deformovat bez toho, aby došlo k jejich porušení. Deformace je převážně vratná.

Tab. 1 Stupeň krystalinity a hustota vybraných plastů [28]

Druh plastu	Stupeň krystalinity [%]	Hustota [g/cm ³]		
		ρ_k krystalická	ρ_a amorfní	ρ typická
PA 6	35 – 45	1,24	1,07	1,140
PA 6.6	35 -45	1,23	1,08	1,140
POM	70 – 80	1,5	1,25	1,410
PET	30 – 40	1,5	1,33	1,380
PTFE	60 – 80	2,35	2,00	2,100
PP (izot.)	70 – 80	0,95	0,85	0,905
PP (atak.)	50 – 60	0,95	0,85	0,896
HDPE	70 – 80	1,00	0,85	0,950
LDPE	45 - 55	1,00	0,85	0,920

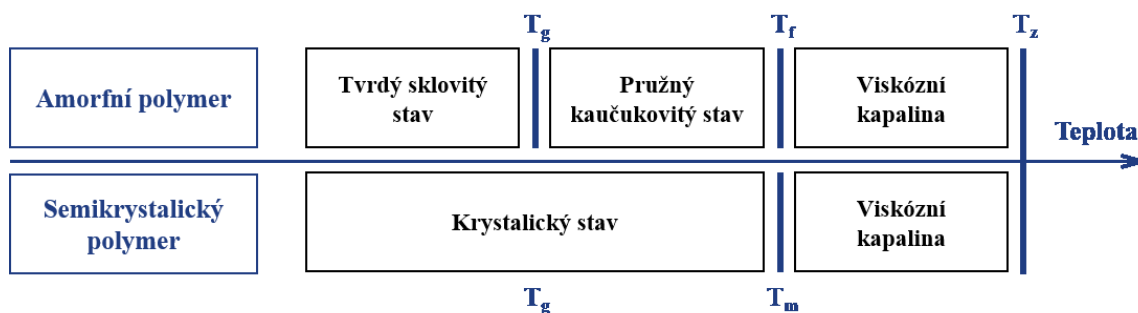
Rozdíl mezi termoplasty a reaktoplasty spočívá v jejich odlišném chování při opětovné snaze uvést je do plastického stavu. Po dostatečném zahřátí termoplastů dochází k jejich přechodu do vysoce viskózní nenewtonské kapaliny a ochlazením se vracejí zpět do tuhého stavu. Tato změna je opakovatelně vratná. U reaktoplastů nastává při tomto procesu chemická reakce, kdy dojde k prostorovému zesílení struktury tzv. vytvrzení. Tato změna je již nevratná a vytvrzený reaktoplast již není možné znovu roztavit. Při jeho dalším zahřívání dochází k rozkladu hmoty. Skutečnost, že není tento druh plastů možné opakovaně tavit má za následek kromě omezené možnosti zpracování také nemožnost jeho svařování.

2.1 Vlastnosti plastů [25], [27], [28]

Stejně jako u jiných materiálů jsou i vlastnosti polymerů výrazně závislé na teplotě. U mechanického namáhání plastů však nemusí být rozhodující pouze výška teploty, ale také doba, po kterou je součástí působení sil v těchto zhoršených tepelných podmínkách vystavena. Rozsahy teplot, při kterých jsou konkrétní plasty použitelné a především rychlost změny vlastností, určuje nadmolekulární struktura. K rychlé nebo dokonce i skokové změně chování materiálu dochází v oblastech nazývaných přechodové teploty. Základní přechodové teploty plastů jsou následující:

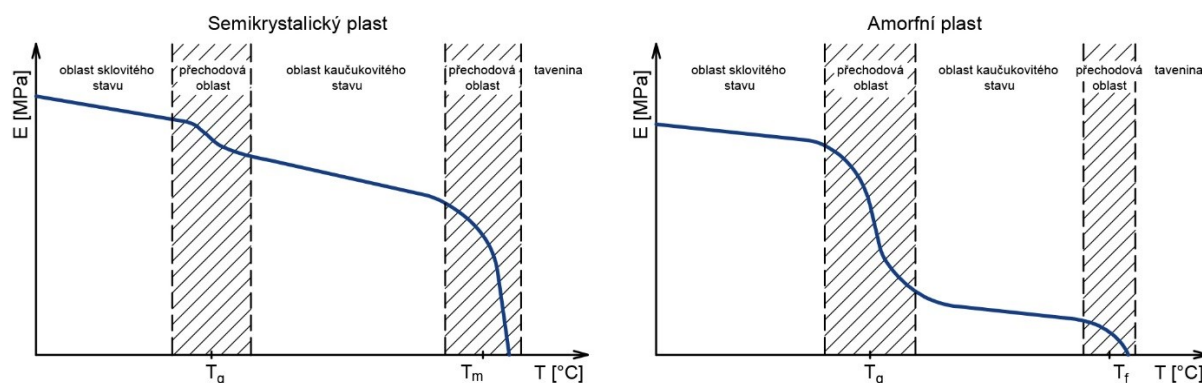
- **Teplota skelného přechodu - T_g**
Pod touto teplotou je materiál v tvrdém sklovitém stavu. Nad ní se nachází polymer v pružném kaučukovitém stavu. Změna vlastností při přechodu přes tuto teplotu je skoková.
- **Teplota viskózního toku - T_f**
Je hranicí pro amorfní termoplasty, nad kterou se polymer mění ve viskózní kapalinu.
- **Teplota tání - T_m**
Charakteristická teplota pro semikrystalické plasty. Nad touto teplotou dochází k tání krystalů a ke změně fáze z tuhé na kapalnou.
- **Teplota tepelné degradace - T_z**
Nad touto teplotou dochází k rozkladu hmoty.

Na obrázku 6 jsou názorně zobrazeny charakteristické teploty a stavy ve kterých se polymer může nacházet. Ve struktuře semikrystalických plastů je obsažen i určitý amorfní podíl a lze tak i u nich určit teplotu skelného přechodu, která má dopad na změnu vlastností. Změny ovšem platí pouze pro tuto amorfní složku, tím pádem, pokud polymer vykazuje vyšší stupeň krystalinity nejsou změny při této teplotě tolik patrné.



Obr. 6 Rozdělení fází amorfního a semikrystalického polymeru, v závislosti na rostoucí teplotě [27]

Praktický význam má toto rozdělení také z hlediska výběru plastu pro konkrétní aplikaci. Amorfní jsou nejlépe využitelné, pokud se nachází ve tvrdém stavu pod teplotou T_g . Semikrystalické je možné využívat až do teploty okolo T_m , jelikož změna vlastností je pozvolná. Pro větší názornost je na obr. 7 uvedena závislost modulu pružnosti na teplotě. Je z něj patrné, že u plastu, který obsahuje krystalickou složku, modul klesá plynule a prudce padá, až po dosažení teploty tání. Amorfní plast má modul na téměř konstantní hodnotě až do teploty zesklenní a poté skokově poklesne, jakmile dojde ke změně fáze ze sklovité na kaučukovitou. Součástka tedy v takových tepelných podmínkách ztrácí svoje mechanické vlastnosti. Této fáze je však s výhodou využíváno při technologii tváření plastů.



Obr. 7 Závislosti modulu pružnosti na teplotě pro semikrystalický plast (vlevo) a amorfní plast [2]

2.1.1 Polyamid (PA) [5], [16], [33]

Polyamid je konstrukční semikrystalický plast, v jehož polymerním řetězci se pravidelně střídají amidové skupiny $-\text{CO}-\text{NH}-$ se skupinami methylenovými $-\text{CH}_2-$. Přítomnost atomů dusíku ve struktuře má za následek zvýšení pevnostních hodnot, avšak zapříčiňují vysokou navlhavost. V tuhém stavu mohou polyamidy být až z 60 % krystalické. Podíl krystalické fáze se odvíjí od množství vodíkových můstků mezi řetězovými molekulami, což dále ovlivňuje mimo jiné i bod tání a teplotu T_g .

Vzhledem mohou být zakalené (vyšší stupeň krystalinity) nebo téměř průhledné (větší podíl amorfní fáze). Obecně se jedná o plast s dobrými mechanickými vlastnostmi. Má vysokou pevnost, tvrdost, odolnost proti otěru a amorfní podíl zvyšuje jeho houževnatost. Mezi další důležité vlastnosti patří výše zmíněná vysoká navlhavost. Ta se u nejčastěji používaných polyamidů pohybuje při 50% relativní vlhkosti vzduchu a teplotě 23°C mezi 2 – 5 procenty hmotnosti. Absorpce vody výrazně ovlivní přesnost rozměrů, jedná se však o děj, který probíhá dlouhou dobu (řádově dny) a pokud tedy nejsou požadavky na zvýšenou odolnost proti vlhkosti, není důvod tento plast nepoužít. Pro snížení navlhavosti se mohou přidávat anorganická plniva, jako například skleněná vlákna nebo drcený křemen.

Použití polyamidu jako konstrukčního materiálu je velice rozšířené, zejména pak nachází uplatnění v automobilovém průmyslu a to pro široké množství komponent. Běžná je výroba polyamidového potrubí, držáků, konstrukcí, ovládacích elementů a z důvodu dobré samomaznosti se používá pro výrobu ozubených kol, ložisek a různých mechanismů. Znamé je ovšem také využití polyamidových vláken, a to jak technických tak textilních. Ukázka použití polyamidů je na obr. 8.

- **Polyamid 6 (PA6)**

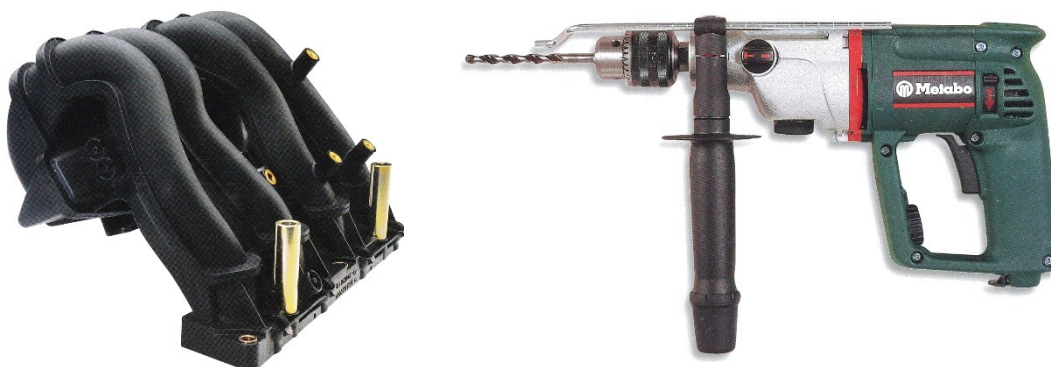
Je tvořen z 25 až 45% krystalickým podílem a má vysokou teplotu tání 220 až 250 °C. V závislosti na obsahu vody je jeho pevnost v tahu v rozsahu 40 až 80 MPa, modul pružnosti pak od 900 do 1600 MPa. Polyamid 6 je ceněný pro svoji mimořádnou odolnost proti otěru. Dále má nízký koeficient tření. Silná polarita hmoty má za následek špatné elektrické vlastnosti.

- **Polyamid 66**

Jeho teplota tání je okolo 250 °C, hustota je téměř stejná jako u PA6 a má menší navlhavost. Mechanické vlastnosti má přibližně o 20% lepší než PA6. Je odolný vůči většině rozpouštědel až na silné kyseliny a oxidační činidla.

- **Polyamid 11 a polyamid 12**

Z polyamidů mají nejnižší hustotu (1040 kg.m^{-3}) a také nejnižší navlhavost. Také mechanické vlastnosti jsou dobré, zvláště rázová a vrubová houževnatost. Oproti předchozím dvěma polyamidům vykazují také lepší dielektrické vlastnosti a vyšší odolnost proti UV záření.



Obr. 8 Ukázka možného použití polyamidů, vlevo sací potrubí automobilu, vpravo kryt a madlo ruční vrtačky [6], [14]

2.1.2 Polykarbonát (PC) [16], [33]

Polykarbonáty jsou amorfni termoplasty a vynikají spojením řady velmi dobrých vlastností. Zejména těmi mechanickými. Pevnost v tahu se pohybuje okolo 70 MPa a modul pružnosti kolem 2500 MPa (speciální typy plněné 40% krátkými skleněnými vlákny dosahují až 10 000 MPa). Dále mají vysokou houževnatost a nízký kříp.

Tvarová stálost součástí z polykarbonátu je do 125 °C a až nad teplotou 220 °C přechází do stavu velmi viskózní kapaliny. Polykarbonáty mají velmi dobré elektroizolační vlastnosti a patří k samozhášivým plastům. Z těchto důvodů jsou často využívány v elektrotechnice. Odolnost proti povětrnosti a UV záření a stejně tak proti korozi za napětí je na střední úrovni. Dobrá je odolnost proti kyselinám nikoli však zásadám.

Vstřikování PC je nejčastějším způsobem jeho zpracování a to zejména pro výrobu technických dílců, u kterých se předpokládá zvýšené mechanické a tepelné namáhání. Vynikají také výbornou číroostí a průhledností. Nacházejí uplatnění například při tvorbě elektrických

komponent, všemožných krytů, v automobilovém průmyslu se využívá zejména na pohledové díly, jako jsou nárazníky nebo osvětlení. Příklad použití PC je na obr. 9a.

Tento druh plastu je také vhodný k třískovému obrábění nebo ke svařování, například horkým vzduchem. Využívá se i pro výrobu trubek, profilů a tlustých fólií za pomoci technologie vytlačování.

2.1.3 Polyoxymetylén (POM) [16], [19], [33]

Jedná se o polymer na bázi formaldehydu, který se v technické praxi označuje jako polyformaldehyd. Vyznačuje se vysokým stupněm krystalinity pohybujícím se v rozmezí od 70 do 90 %. Množství krystalického obsahu je možné snížit kopolymerací.

POM je díky svým dobrým mechanickým vlastnostem využíván jako konstrukční plast. Modul pružnosti je mezi 2800 až 3500 MPa a pevnost v tahu dosahuje okolo 70 MPa. Díky vysoké rázové houževnatosti, tvrdosti a pevnosti bývá používán na součásti, které jsou v aplikaci vystaveny častým nárazům. Dosahuje podobně jako polyamidy vysoké odolnosti proti otěru a dobře odolává křípu. Ceněný je také kvůli nízkému koeficientu tření.

Teplota tání polyoxymetylénu je kolem 175°C a tvarovou stálost zajišťuje do 100°C. Má velice dobré elektroizolační vlastnosti. V porovnání s předchozími dvěma plasty má nejvyšší hustotu a stejně je tomu i u smrštění, které je přibližně 2%. Vysoký stupeň krystalinity je příčinou výborné odolnosti proti téměř všem organickým rozpouštědlům a k jeho porušení dochází pouze při styku se silnými kyselinami a oxidačními chemikáliemi.

Až 90% tohoto druhu polymeru, bývá zpracováno vstřikováním. K docílení kratší doby cyklu se do plastu přidávají nukleační činidla, která zvyšují krystalizační rychlost. Nejčastěji bývá POM využíván pro výrobu součástí strojů, ventilů, ozubených kol nebo čerpadel. V automobilovém průmyslu pak na výrobu vnějších klik, palivového potrubí a na různé elektrotechnické komponenty. Některé aplikace tohoto plastu jsou na obr. 9b.



a) Výrobky z polykarbonátu

b) Výrobky z polyoxymetylénu

Obr. 9 Příklady použití konstrukčních plastů PC a POM pro různé aplikace [6], [14]

3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ [15], [29]

Vstřikování je momentálně nejrozšířenější technologií pro zpracování plastů. Slouží pro výrobu již finálních součástí nebo k přípravě polotovarů před další operací. Nespornou výhodou této technologie je možnost produkovat i komplikované díly s dobrou přesností a to v relativně krátkém čase. Výstřiky mohou mít podle požadavků různé vlastnosti díky velké rozmanitosti materiálů, které jsou pro tuto technologii vhodné. V možnostech vstřikování je tak například zhotovení součástí s vysokou mechanickou pevností, odolností proti rázům nebo zvýšené teplotě. Naopak je možné vyrábět i díly, které budou mít nízkou hmotnost a budou plnit například funkci utěsnění nebo tepelné izolace. Tyto parametry se pochopitelně primárně odvoďují od použitého materiálu, kterých bylo vyvinuto velké množství a za pomoci plniv je možné jejich vlastnosti ještě vylepšovat.

Důležitým parametrem, který ovlivní kvalitu výsledného dílce, je bezesporu výroba formy. Ta má vliv zejména na jakost povrchu, přesnost rozměrů a musí zajistit, aby byly u součástky dodrženy veškeré předepsané tolerance. Po ekonomické stránce je právě výroba formy tou nejnákladnější položkou v celém výrobním řetězci. Pokud je však její konstrukce provedena dobře, může v konečném důsledku snížit výrobní cenu. Jde především o správné zvolení násobnosti a následné vyřešení vtokového systému. Tím lze docílit rychlého rozvedení taveniny do všech částí tvarové dutiny. Pokud je pak i vhodně zvolen temperační systém, umožňující výrobek rovnoměrně a co nejrychleji ochladit, podaří se zkrátit dobu výrobního cyklu na minimum.

Tato technologie je předurčena k sériové výrobě a to nejen kvůli vysokým nákladům na zhotovení formy, ale také na pořízení strojního zařízení. Vstřikovací stroj je schopen připravit z vloženého granulátu taveninu, kterou poté pod vysokým tlakem vstřikuje do upevněné formy. Otvírání a zavírání formy řídí rovněž stroj, konkrétně jeho uzavírací jednotka, která musí dále zajistit, aby po celou dobu cyklu byla forma uzavřena dostatečnou silou a nedošlo tak v průběhu cyklu k jejímu otevření.

3.1 Princip vstřikování plastů [15], [25], [29]

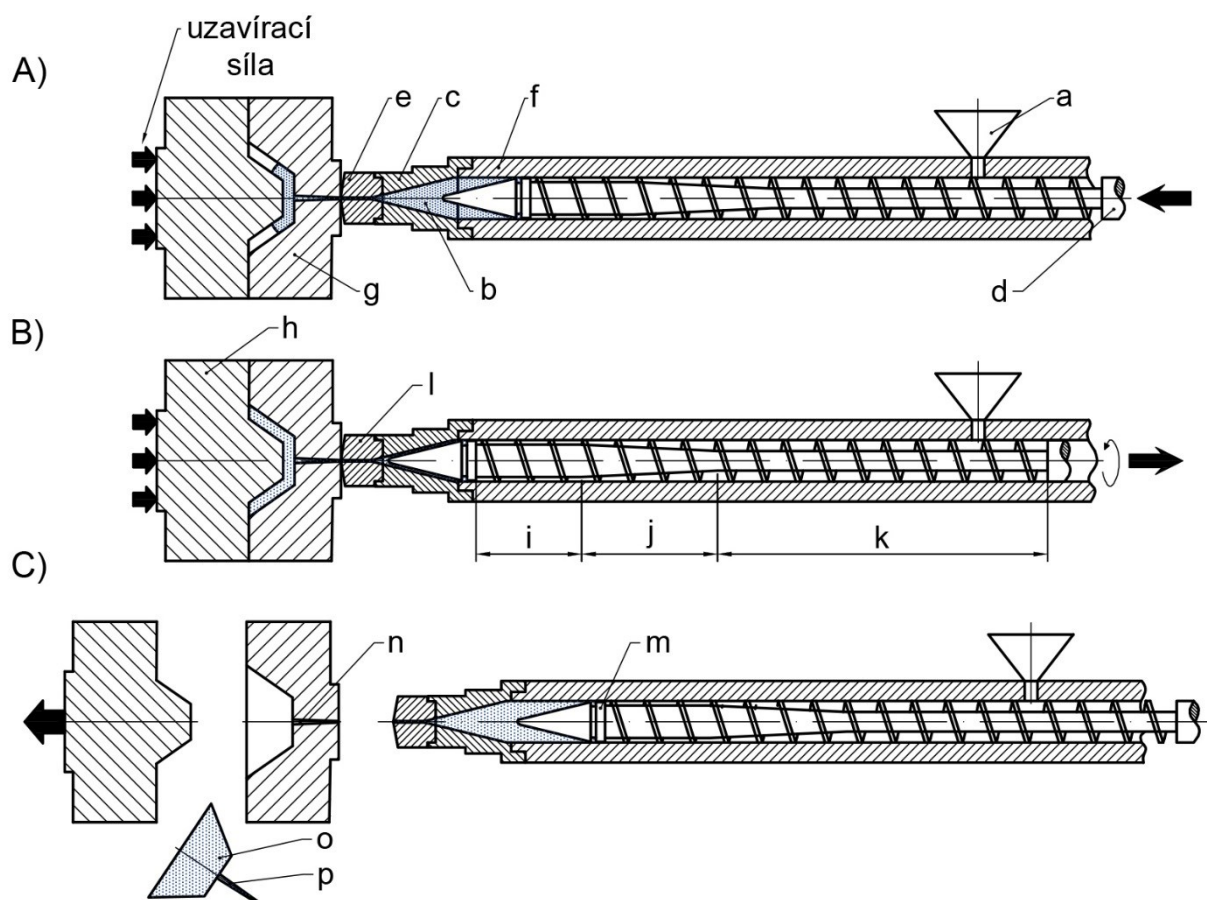
První fází celého procesu je dávkování, neboli vložení plastu nejčastěji v podobě granulí do násypky. Odtud je odebírán v přesně určeném množství do tavicí komory. V této části stroje dochází k plastikaci, jejímž cílem je připravit homogenní taveninu a dopravit ji do prostoru před šnekem. Ten je rozdělen podle funkce na tři pásma, jak je patrné z obr. 10b. První pásmo se nazývá dávkovací, jeho délka bývá více než polovina celkové délky, a jeho účelem je stlačovat materiál a zbavovat ho vzduchu. Následuje kompresní část, která je navržena tak, že se plynule zvětšuje průměr jádra, čímž se zmenšuje průřez, kterým plast protéká. V důsledku toho dochází k vysokému tření mezi částicemi, což má za následek intenzivní tání granulátu. Poslední částí šneku je hnětací úsek, kde se vzniklá tavenina homogenizuje. Tavicí komora je pro zajištění dostatečně vysoké teploty vybavena ještě topnými tělesy. Konec šneku je opatřen zpětným ventilem, aby v následující operaci, kdy se bude pohybovat vpřed, nedošlo k toku taveniny směrem nazpět.

Poté co je plastikace u konce a před čelem šneku je nashromážděno přesné množství materiálu, je možné zahájit fázi vstřikování. Šnek se pohybuje vpřed a vykonává pouze axiální pohyb, funguje tedy v této situaci jako píst. Tato fáze je na obrázku 10a. Roztavený plast je vysokou rychlostí a pod vysokým tlakem vstřiknut do formy a vyplní objem tvarové dutiny. V této etapě dochází k nejvyššímu nárůstu tlaku ve formě. Aby nedošlo k vzniku enormní tlakové špičky, která by měla za následek poškození výstřiku nebo dokonce formy, následuje přepnutí na dotlak.

Doplňování neboli dotlak je významnou částí celého procesu, jelikož má výrazný vliv na kvalitu výrobku. Z uvedených důvodů je snížen tlak v dutině formy a nastává doplnění materiálu. Již během vstřikování, ale především v průběhu dotlaku je odváděno velké množství tepla z výstřiku do stěn formy a ten je tak ochlazován. Nastává úbytek objemu materiálu, neboli smrštění. Tato objemová ztráta musí být tedy kompenzována.

Po skončení předchozí fáze ještě výrobek chladne ve formě. V průběhu toho dochází opět v plastikační jednotce stroje k přípravě nové dávky pro následující vstřikovací cyklus. Při zpětném pohybu šneku musí být zajištěna dostatečně vysoká úroveň zpětného tlaku, aby se zamezilo úniku taveniny z dutiny formy.

Jakmile výstřik zchladne na teplotu odformování, je forma otevřena a výrobek je pomocí vyhazovacího systému nebo manuálně vyjmut (obr. 10c). Současně s tím musí být z dutiny odstraněn i vtokový zbytek. Ten může být s dílcem spojen a oddělen od něj až v další operaci mimo celý vstřikovací proces nebo je odtržen již při otevírání formy. Princip vstřikování je znázorněn na obrázku 10.



- A) Vstřikování taveniny – tavenina před čelem šneku je jeho axiálním pohybem vstřikována do formy
 B) Dotlak a následný zpětný pohyb šneku – doplňování materiálu a následné ochlazování výstřiku
 C) Vyhození výstřiku – výstřik je vyhozen z formy, během předchozí operace proběhla rovněž plastikace nové dávky a je možné začít nový cyklus.

a – násypka, b – tavenina, c – válcová hlava, d – šnek, e – vstřikovací tryska, f – tavící komora s topnými tělesy, g – pevná část formy, h – pohyblivá část formy, i – hnětací pásmo šneku, j – kompresní pásmo šneku, k – dávkovací pásmo šneku, l – vstřikovací tryska, m – zpětný ventil, n – vtokový kanál, o – výstřik, p – vtokový zbytek

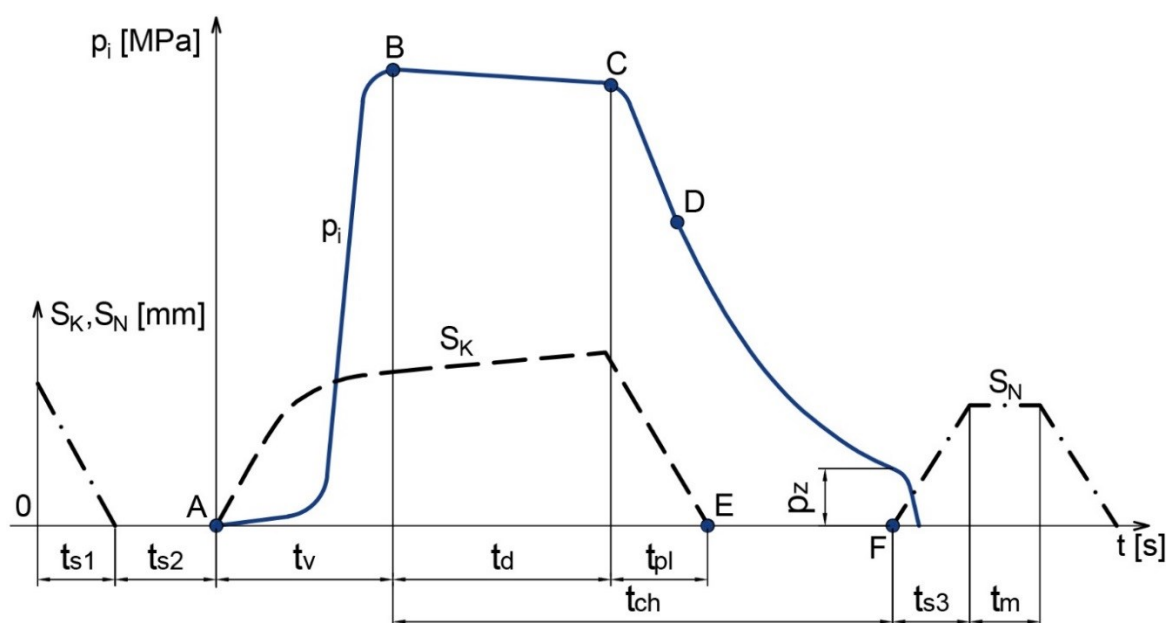
Obr. 10 Princip vstřikování plastů [25]

3.2 Technologické parametry vstřikování [15], [16], [29], [34]

Při optimalizaci, ale i v průběhu celého vstřikovacího procesu je třeba sledovat množství technologických parametrů, které mají rozhodující vliv na kvalitu výrobku. Patří mezi ně především hodnota vstřikovacího tlaku, dotlaku a zpětného tlaku. Dále jsou důležité časové úseky, po které probíhají jednotlivé fáze procesu a v neposlední řadě je také třeba monitorovat teplotu formy a vstřikovaného materiálu. Některé z důležitých parametrů budou následně probírány podrobněji.

- **Časový průběh tlaku v dutině formy**

Závislost tlaku ve formě na čase je uvedena na obrázku 11. Plnou čarou je zobrazena měnící se hodnota tlaku, čerchovaná čára znázorňuje pohyb formy a přerušovaná pohyb šneku. Počátečním bodem cyklu je impuls k uzavření formy. Úsek t_{s1} představuje zavírání formy a následující t_{s2} pak přisouvání tavné komory. Poté v bodě A dochází k zahájení vstřikování, které po krátké chvíli provází prudký nárůst vnitřního tlaku. Ten roste až do bodu B, kdy dojde k přepnutí na dotlak. Tento okamžik je velmi důležitý. Pokud totiž dojde k předčasnému přepnutí, může se stát, že tavenina nedoteče do všech částí formy nebo se výstřik zdeformuje. K deformaci nejčastěji dochází vznikem propadlin nebo vnitřních staženin. Naopak pozdní přepnutí na dotlak způsobí přílišný nárůst tlaku, který omezí pohyb makromolekul při chladnutí a tím dojde k vyvolání vnitřního napětí v dílci. Po uplynutí doby t_d tlak ve formě rychle klesá. Výrobek postupně chladne až do bodu F, kdy nastane otevření formy a vyhození výstřiku. Tím je celý cyklus u konce a je možné zahájit další.



Obr. 11 Průběh tlaku ve tvarové dutině formy v závislosti na čase [29]

- **Doba vstřikování**

Čas, po který dochází k plnění dutiny formy, závisí na rychlosti vstřikování a dále pak na technologických podmínkách jako jsou vstřikovací tlak a teplota taveniny. Mezi další parametry, které tuto dobu ovlivňují, jsou především objem výstřiku, řešení vtokové soustavy, teplota formy a geometrický tvar dílce. Je pochopitelně žádoucí, aby byla rychlost vstřikování co nejvyšší a dutina se tak zaplnila co nejrychleji, ovšem vysoká rychlost je nebezpečná z hlediska možného přehřátí materiálu a jeho degradace.

Dobu plnění je třeba zkrátit na minimum také z toho důvodu, že tavenina se při kontaktu se stěnami formy ochlazuje, čímž se snižuje její tekutost. Při dlouhém vstřikovacím čase by tak

mohlo dojít k tomu, že by nezaplnila celou dutinu a výsledný kus by byl nedostříknutý. Forma by se neměla plnit volným tokem, ale laminárním po stěnách tvarové dutiny. V případě laminárního toku materiál vtéká do dutiny postupně a v oblasti stěn, dochází v důsledku velkého odvodu tepla z taveniny do formy k ztuhnutí tenké vrstvy plastu. Ta se v daný okamžik nepohybuje a slouží jako tepelná izolace. Tím umožňuje plastickému jádru o nízké viskozitě další průtok.

• Doba ochlazování

Jedná se v podstatě o největší složkou celkového trvání pracovního cyklu. Doba ochlazování se skládá z času, po který trvá dotlak a z následné doby chladnutí výrobku, kdy je již vtokové ústí zatuhlé. Během chladnutí, které následuje po doplňování materiálu, nastává chvíle pro plastikaci další dávky v tavicí komoře. Délka doby ochlazování trvá pouze tak dlouho, dokud není možné výstřik bez poškození vyhodit z formy. Pokud by došlo k vyhození ztuhlého výstřiku, ještě před dosažením požadovaných mechanických parametrů materiálu, vyhazovače by zanechaly na místech styku s výstřikem výrazné otisky, případně by mohly zdeformovat nebo protrhnout stěny výrobku. S tímto nebezpečím také samozřejmě souvisí správná volba měrného vyhazovacího tlaku jako podílu vyhazovací síly a opěrné plochy vyhazovačů.

Jedním z hlavních parametrů, který ovlivňuje čas ochlazování je tloušťka stěny výstřiku. S přibývajícím tloušťkou doba ochlazování narůstá, pro lepší představu jsou některé hodnoty ochlazovacích časů uvedeny v tabulce 2. Jedná se řádově o sekundy, ovšem pár sekund navíc v jednom cyklu, může znamenat i několik dní, o které se celá výrobní dávka prodlouží. Pokud je například výrobní série 100 000 kusů, pak vlivem nárůstu tloušťky stěny z 2 na 3 mm vzroste čas cyklu o 14,3 sekund a potom celkový čas výroby naroste o téměř 17 dní. Tento výpočet je samozřejmě orientační, jelikož doba ochlazení je ještě ovlivněna dalšími faktory, jako je konstrukce temperačního systému formy, tvar výstřiku, teplota vstřikované taveniny, teplota formy, vstřikovací rychlost a průběh dotlaku.

Tab. 2 Orientační určení doby ochlazování [34]

Pro teplotu formy vyšší než 60°C				Pro teplotu formy nižší než 60°C			
d [mm]	t _{och} [s]	t _d [s]	t _{ch} [s]	d [mm]	t _{och} [s]	t _d [s]	t _{ch} [s]
1,0	3,9	1,2	2,7	1,0	3,0	0,9	2,1
1,2	5,3	1,6	3,7	1,2	4,1	1,3	2,8
1,4	7,0	2,1	4,9	1,4	5,4	1,7	3,7
1,6	8,8	2,7	6,1	1,6	6,8	2,1	4,7
1,8	10,8	3,3	7,5	1,8	8,3	2,5	5,8
2,0	13,0	3,9	9,1	2	10,0	3,0	7,0
2,5	19,5	5,9	13,6	2,5	15,0	4,5	10,5
3,0	27,3	8,2	19,1	3,0	21,0	6,3	14,7
3,5	36,4	11,0	25,4	3,5	28,0	8,4	19,6
4,0	46,8	14,1	32,7	4,0	36,0	10,8	25,2

Pozn.:

d – největší tloušťka stěny;

t_{och} – doba ochlazování;

t_d – doba dotlaku;

t_{ch} – doba chladnutí.

• Teplota formy

Teplota formy je jedním z technologických parametrů, který má výrazný vliv na vlastnosti výstřiku. Je definována hodnota teploty stěny tvarové dutiny před jejím naplněním taveninou. Zahřátí formy na požadovanou hodnotu, před započítáním každého cyklu je realizována pomocí temperačního systému. Jedná se o soustavu kanálů v těle formy, kterými prochází chladící médium. Úkolem tohoto systému je odvádět teplo vnesené taveninou ze stěn tvarové dutiny a udržovat teplotu nastavenou před začátkem vstřikování. Tímto způsobem je odvedena největší

část tepla a je dosaženo ochlazení výstřiku natolik, aby jej bylo možné bezpečně vyhodit. Teplota výrobku při odformování, tedy v okamžiku otevření formy, bývá v rozmezí 80 – 140°C. Je dále důležité, aby tvarová dutina byla vytemperovaná rovnoměrně, jelikož různá rychlost ochlazování vede k místně odlišnému smrštění výstřiku, v důsledku toho může nastat deformace nebo vznik vnitřních napětí v dílci.

Vysoká rychlost ochlazování u plastů s krystalickou fází způsobuje, že není dostatek času ke vzniku zárodků nutných pro růst krystalů. V místě styku taveniny se stěnami formy je ochlazování nejintenzivnější a na povrchu výstřiku se tak nachází více amorfní fáze. Naopak nejdelší doba pro vznik krystalů je uprostřed stěny. Podíl krystalické fáze má přímý dopad na mechanické a fyzikální vlastnosti výrobku, a jelikož je v každé jeho vrstvě množství krystalů odlišné, výslednou hodnotu dané vlastnosti je určitá průměrná hodnota. Vytvoření rovnoměrnější struktury lze docílit zvýšením teploty formy nebo přidáním nukleačních činidel, která byla vytvořena za účelem zrychlení krystalizačního procesu.

Vyšší teplota formy přináší i mnoho dalších příznivých jevů jako například větší délku zatečení taveniny, snížení vnitřních napětí v dílci, zvýšení tuhosti nebo odolnosti proti ořezu. Zvýšení teploty se projeví i negativně a to například nárůstem výrobního smrštění, které má dopad na rozměrovou přesnost, ale především dojde k prodloužení doby ochlazování a tím pádem celého vstřikovacího cyklu. V praxi je tedy nutné vyhodnotit, zda je prioritou lepší kvalita nebo zrychlení výroby a udělat kompromis mezi zmiňovanými klady a zápory.

3.3 Vstřikovací stroje [15], [26], [29]

Současné stroje pro vstřikování plastů jsou konstruovány způsobem, aby zajistily plně automatickou výrobu. Často jsou dovybaveny i manipulátory a dopravníky a mohou být bezobslužně v provozu takřka nepřetržitě. Vstřikovací stroj nebo též vstřikolis, je tvořen dvěma základními systémy a to vstřikovací a uzavírací jednotkou. Obě části jsou uloženy v rámu stroje, jehož součástí je u moderních strojů také hydraulický pohon. Správný chod stroje je zajištěn řídicím a kontrolním systémem. Vstřikovací jednotka bývá standardně jedna a je ustavena v horizontální poloze (obr. 12), aby docházelo ke vstřikování kolmo na dělicí rovinu. Je možné i úhlové uspořádání, kdy probíhá plnění formy do dělicí roviny. Pokud je třeba vstřikovat více materiálů tzv. vícekomponentní vstřikování, je stroj vybaven několika vstřikovacími jednotkami. Funkci otevírání a zavírání formy zajišťuje uzavírací jednotka, která je vždy pouze jedna a její poloha může být ve speciálních případech také upravena do jiné konfigurace.

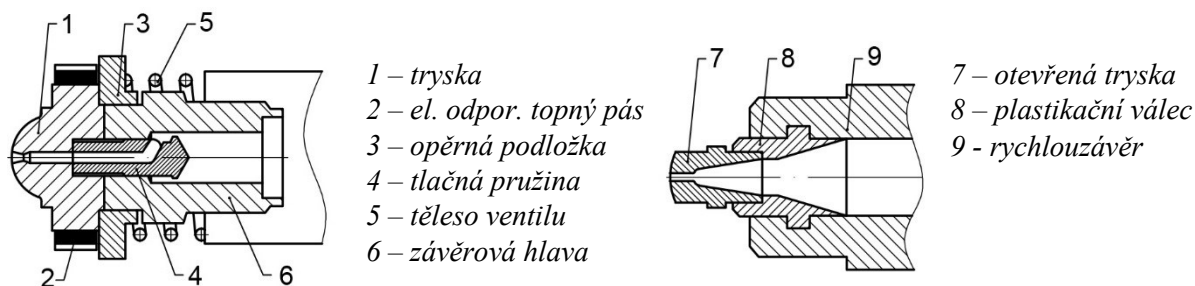


Obr. 12 Horizontální vstřikovací stroj značky Mega Machinery [17]

- **Vstřikovací jednotka**

Jedná se o část stroje, která má za úkol přeměnu vloženého granulátu na taveninu, její dopravu před čelo šneku a následné vstříknutí skrze tryšku do dutiny formy. Před tím, než byly vyvinuty šnekové stroje, používaly se pístové vstřikovací jednotky. Granulát se tavil pouze za pomoci topných těles a k částečnému promísení taveniny docházelo při obtékání tzv. torpéda, které bylo umístěno v komoře před tryškou. Později vznikly stroje s oddělenou plastikační a vstřikovací komorou, ty byly ovšem konstrukčně složitější. Mezi hlavní nevýhody pístových jednotek patří nižší homogenita taveniny, vznik větších tlakových ztrát a také delší výrobní cyklus. V dnešní době se používají jen zcela výjimečně a na drtivé většině vstřikovacích strojů najdeme jednotku se šnekem.

Tavicí komora, kde je šnek umístěn, je vybavena topnými elementy, zajišťujícími ohřev prostoru, ve kterém dochází k plastikaci. K roztavení dávky plastu je třeba dodat určité množství tepla, jehož hlavní část (přibližně dvě třetiny) je tvořena třením materiálu v průběhu hnětení a zbývající teplo vytváří odporové topné pásy. Vytápění je rozděleno na tři pásma, kdy nejvyšší teplota bývá v místě trysky a nejnižší v části násypky, odkud vstupuje plast v podobě granulí do komory. Pohyb šneku je realizován pomocí pohonů, které musí zajistit, jak rotační pohyb při plastikaci, tak přímočarý pohyb v okamžiku vstřikování a v dotlakové fázi, kdy šnek působí jako píst. Celá vstřikovací jednotka je usazena na posuvnou konzolu, která slouží k přisunu jednotky k vtokové vložce formy. Na konci tavicí komory se nachází tryška, která spojuje komoru s formou. Je nutné zajistit přesné dosednutí trysky k vtokové vložce a vyvinout dostatečnou přitlačnou sílu, aby nedošlo k úniku taveniny mimo systém. Na špičce trysky proto bývá zaoblení, které má rádius menší než je na kontaktní ploše vtokové vložky. V případě vstřikování do dělicí roviny musí být špička rovná, aby nepůsobila jako klín a nedocházelo tím k otevírání formy. Pro zabránění vniku nečistot do tvarové dutiny, bývají někdy trysky vybaveny filtrem. Ten však musí být snadno přístupný, aby jej šlo v případě zanešení rychle očistit nebo vyměnit. Základní konstrukce trysky může být uzavíratelná nebo otevřená, obě varianty jsou uvedeny na obr. 13.



Obr. 13 Uzavíratelná tryška (vlevo) a otevřená tryška [15]

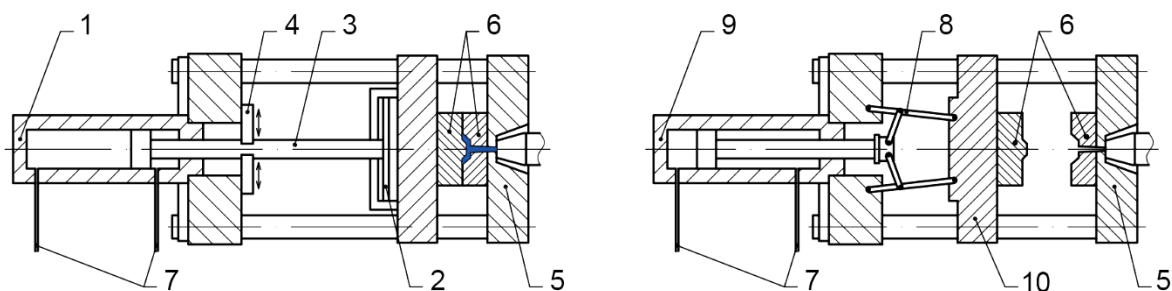
- **Uzavírací jednotka**

K uzavření formy, jejímu zajištění proti otevření v průběhu vstřikování a následnému vyhození hotového výstřiku ven z formy slouží uzavírací jednotka. Skládá se z opěrné desky, která je nepohyblivá a je na ní připevněna část formy s vtokovou vložkou. Naproti ní je pohyblivá deska, jejíž vedení je zajištěno vodíci sloupky. Nejčastěji je uzavírací jednotka řešena se čtyřmi sloupky, ale existují i varianty zcela bez nich, kdy je pohyblivá část formy vedena přímo v rámu stroje a je tedy vyžadována jeho vysoká tuhost. Systémy pro uzavírání formy existují buď mechanické, hydraulické nebo hydraulicko-mechanické.

Hydraulické uzavírací jednotky (obr. 14) mají velkou výhodu, že umožňují přesné nastavení uzavírací síly a stanovení průběhu rychlosti v závislosti na dráze. Rozložení síly je téměř ideální, jelikož síla působí na středu pohyblivé desky. Existují i varianty, kdy jsou čtyři

hydraulické válce umístěny na straně upínací desky v rozích a dochází k pohybu celých vodících sloupků, které jsou na jedné straně spojeny s pístem a na druhé s pohyblivou částí formy. Síla již není koncentrována uprostřed, ale i přesto dosahuje toto řešení dobrého rozložení sil.

Pro velké stroje s požadavkem na vysokou přidržovací sílu se častěji používají mechanické nebo hydraulicko-mechanické systémy (obr. 14). Je zde však nevýhoda ve velkém množství kovových dílů, které mohou vlivem tepelného roztažení změnit parametry uzavírací a přidržovací síly. Dále je třeba častější údržba, při které je nutné promazávat mechanismus. Výhodou je vysoká rychlost uzavírání formy.



1 – hydraulický válec pro uzavírání a otevírání formy, 2 – hydraulický válec pro vyvození přidržovací síly, 3 – pístní tyč, 4 – závora, 5 – pevná upínací deska, 6 – vstřikovací forma, 7 – přívod hydraulického oleje, 8 – kloubový mechanismus, 9 – hydraulický válec, 10 – pohyblivá upínací deska

Obr. 14 Hydraulická uzavírací jednotka (vlevo) a hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka [15]

• **Kontrolní a řídicí jednotka**

Nezbytnou součástí vstřikovacích strojů je řada různých snímačů a čidel, pro získání informací o aktuálním stavu procesu. Do řídicí jednotky potom posílají množství naměřených hodnot, například aktuální teplotu formy a taveniny, velikost přidržovací síly, tlak ve formě nebo v hydraulice stroje. Regulační zařízení stroje řízené mikroprocesory neustále porovnává aktuálně naměřená data se zadanými technologickými parametry a snaží se, aby byly hodnoty v průběhu cyklu co nejblíže těm nadefinovaným. K vyrovnávání dochází za pomoci regulace tlaků v hydraulice stroje nebo úpravou výkonu jednotlivých pohonů.

Program pro řízení vstřikovacího procesu je v podobě blokového schématu a je vytvářen obsluhou skrze komunikační rozhraní stroje, kterým bývá nejčastěji ovládací obrazovka s tlačítky, jako je tomu například u CNC obráběcích strojů. Operace jsou v programu logicky uspořádány, jak jdou po sobě a vytvořený program lze pomocí paměťových médií přenášet na jiné vstřikolisy, často ale jen na ty, který mají stejný software.

Stroj může pracovat ve třech základních režimech a to v plně automatickém, poloautomatickém a seřizovacím. Pro prvotní odladění a nastavení všech potřebných parametrů nejen vstřikovacího stroje, ale také jeho příslušenství se využívá seřizovací režim, kdy je každý dílčí krok programu třeba spustit manuálně. Pokud je cyklus seřizen je možné přepnout na automatický režim, při kterém již cykly navazují bezprostředně po sobě, a není třeba dalších zásahů ze strany operátora. V případě, že je třeba vkládat do formy zálisky nebo vyjímat výstřiky ručně, je ideální použít poloautomatický režim, u kterého obsluha spouští každý cyklus zvlášť.

3.3.1 Vybrané parametry vstřikovacích strojů [15], [26], [34]

V praxi je častější situace, kdy má firma vstřikovací stroje již koupené a konstrukci formy v rámci možností přizpůsobuje pro daný model a tedy pro parametry stroje. V tomto případě je důležité dobré porozumění jednotlivým charakteristikám, aby nedošlo k případu, že bude zvolený vstřikolis nedostatečný nebo naopak bude naddimenzovaný a zbytečně tak zabere místo pro formu vyžadující například vyšší přidržovací sílu.

- **Vstřikovací kapacita C_v [cm^3]**

Udává maximální objem taveniny, který je možný pro daný průměr šneku a na daném stroji dopravit z tavicí komory do dutiny formy při jednom vstřikovacím cyklu. Tato charakteristika tak vypovídá o maximálním objemu výstřiku včetně vtokové soustavy, který lze při použití dané vstřikovací jednotky vyrobit.

- **Plastikační kapacita C_p [$\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$]**

Opět se jedná o parametr spojený výhradně se vstřikovací jednotkou. Jedná se o maximální množství plastu v kilogramech, které je stroj schopen převést do plastického stavu za jednotku času (nejčastěji za 1 hod.). Hodnota je udávána pro přesné otáčky šneku, geometrii šneku, teplotu v tavné komoře a také pro definovaný materiál, kterým bývá pro katalogové hodnoty polystyren. Tento parametr může sloužit k výpočtu doby potřebné k plastifikaci konkrétního množství materiálu.

- **Vstřikovací tlak p_v [MPa]**

Jde o maximální tlak v průběhu vstřikovací fáze, který vyvolá čelo šneku v tavenině nashromážděné před ním. Velikost vstřikovacího tlaku má přímý dopad na rychlost plnění tvarové dutiny formy.

- **Uzavírací síla F_u [kN]**

Je to síla potřebná k uzavření a otevření formy. Musí být dostatečně vysoká, aby dokázala uvést pohyblivou desku formy do pohybu a překonala tření desky a vodících sloupků.

- **Přidržovací síla F_p [kN]**

Přidržovací nebo také uzamykací síla je parametr spojený s uzavírací jednotkou. Je to hodnota síly, kterou je stroj schopen vyvinout mezi oběma deskami. V průběhu vstřikovacího cyklu působí proti otevření formy. Pro její výpočet a následné ověření, zda je zvolený stroj dostačující, je třeba znát plochu danou průmětem celé tvarové dutiny formy do dělící roviny a maximální hodnotu tlaku při vstřikovací fázi. Součin těchto hodnot potom udává přidržovací sílu.

- **Vyhazovací síla F_v [kN]**

K odtržení výstřiku, který v důsledku smrštění ulpěl na tvárníku je třeba vyvodit dostatečnou sílu na vyhazovacím systému formy. Síla, kterou dokáže stroj přenést na vyhazovací systém formy, se nazývá vyhazovací.

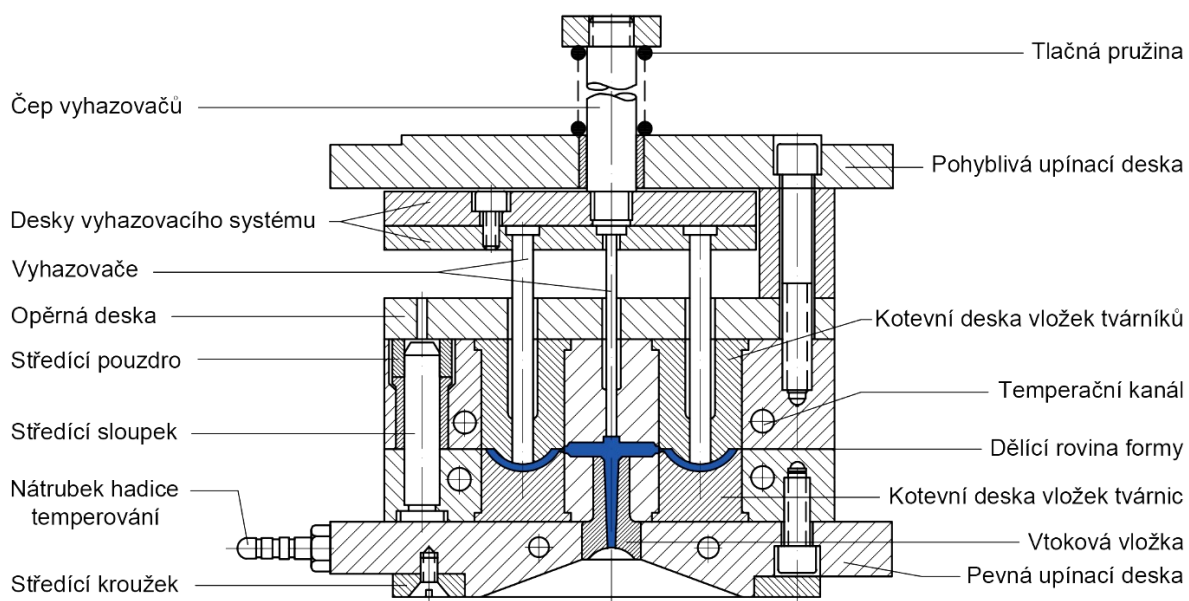
K dalším parametrům vstřikovacích strojů patří například rozměry uzavírací jednotky, přesněji řečeno jejich upínacích desek a také maximální a minimální vzdálenosti, které jsou od sebe schopny dodržet. Tyto informace nám poslouží ke zjištění, zda je na daný stroj vůbec možné naši formu osadit. Parametry, které ještě můžeme najít v katalogích strojů, jsou třeba krouticí moment šneku, průměry jednotlivých pásem šneku, přitlačná síla trysky nebo celkový příkon stroje.

4 FORMY PRO VSTŘIKOVÁNÍ [3], [24], [29]

Vstřikovací forma je nástroj, který dává dílci výsledný tvar, a jsou na ni kladeny v mnoha směrech vysoké požadavky. Vzhledem k velkým hodnotám vstřikovacích tlaků a přidržovacích sil je nutné zaručit její dostatečnou pevnost. Zároveň však musí být materiál dobře obrobitelný a odolný proti korozi. Pro výrobu forem se používají kvalitní nástrojové oceli, které se následně tepelně zpracovávají, čímž je dosaženo mimo jiné i vysoké tvrdosti. Stěny tvarové dutiny jsou vystaveny v důsledku proudění taveniny abrazivnímu opotřebení (zvláště pokud je plast plněný například skleněnými vlákny) a je nezbytné, aby docházelo právě vlivem obroušování k co nejmenším ztrátám na kvalitě výrobků. Vzhledem k počtu výrobních cyklů (běžně stovky tisíc), které forma za svůj život vykoná se tomuto jevu pochopitelně nelze zcela vyhnout.

Přesnost výstřiků je dalším požadavkem, který musí forma zajistit. Pro její konstrukci je zásadní vědět, jaký plast se do ní bude vstřikovat a jaké je jeho smrštění. Od hodnoty smrštění se budou odvíjet rozměry a také tolerance tvarových částí. Existuje celá řada typů forem a vždy také několik řešení pro ten samý výrobek. Nejjednodušší z nich jsou tzv. dvoudeskové, u kterých je tvarová dutina vytvořena uzavřením pouze dvou systémů desek. Pokud chceme, aby docházelo při otevírání formy k oddělení vtokového zbytku, konstruují se jako třídeskové. Lze vstřikovat i úplně bez vtokového zbytku, v takovém případě se jedná o formu s horkým vtokem. Složitější návrhy pak obsahují výsuvná jádra, nebo jestliže je na výstřiku závit s osou kolmou na dělicí rovinu, musí být přítomen nějaký druh vytáčecího mechanismu.

Forma není tvořena pouze tvarovou dutinou, ale musí obsahovat také vtokový systém sloužící k jejímu správnému naplnění taveninou a pro ochlazení výstřiku je třeba vhodné navržení okruhů temperačních kanálů. Dále je nutné zajistit vyhození dílce, které obstarává obecně vyhazovací systém. Jednotlivé konstrukční prvky formy jdou v reálné situaci často proti sobě a to ve smyslu, že pokud se konstruktér snaží všechny systémy navrhnout ideálně, může mezi nimi dojít ke kolizi. Například dochází k případům, že pro nejlepší způsob temperace formy, zasahují kanálky do prostor, kde jsou velmi vhodná místa pro vyhazovací kolíky z hlediska pevnosti součásti nebo kvůli neviditelnosti jejich stop po kontaktu s dílcem. V takových případech je nezbytné udělat kompromis a nesnažit se vždy docílit těchto ideálních řešení, která mnohdy výrazně zkomplikují výrobu a tím navýší i cenu nástroje nebo jsou dokonce úplně nerealizovatelná. Ukázka vstřikovací formy s popisem jednotlivých částí je na obr. 15.



Obr. 15 Řez vstřikovací formou [15]

4.1 Vtokový systém formy [3], [15], [24]

Úkolem vtokového systému je dopravit taveninu s co nejmenšími tlakovými a tepelnými ztrátami do tvarové dutiny a plnit ji pokud možno rovnoměrně. Optimalizace plnění neboli tzv. vybalancování se v dnešní době provádí pomocí počítačové simulace a je obzvláště důležité pro vícenásobné formy s důrazem kladeným na rozměrovou přesnost výstřiků. Pokud by docházelo k nerovnoměrnosti například v tlakovém spádu, nastaly by rozměrové odchylky v jednotlivých dutinách. Pro docílení co nejmenšího hydraulického odporu se rozváděcí kanály dimenzují s co nejmenším poměrem obvodu vůči ploše, ideální jsou tak kruhové tvary. Zároveň je cílem navrhnout soustavu tak, aby byla její velikost minimální a to nejen z důvodů zmiňovaných ztrát, ale také aby bylo co nejvíce sníženo množství odpadu. Dále musí být vtoky vhodně konstruovány z hlediska bezproblémového vyhození z formy, a také aby bylo možné snadno oddělit vtokový zbytek, pokud k tomu nedošlo již při odformování.

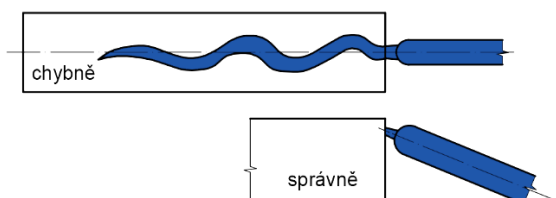
Pro návrh vtokové soustavy je důležité znát vlastnosti vstřikovaného materiálu. Nezbytná je informace, zda se jedná o plast amorfní nebo semikrystalický, který má větší smrštění, delší dobu dotlaku, a aby nedocházelo k zamrznutí vtoků, je třeba výroba kanálků s větším průřezem. Dále je nutné znát reologické vlastnosti a charakteristické teploty plastu.

4.1.1 Studený vtokový systém [15], [24], [31]

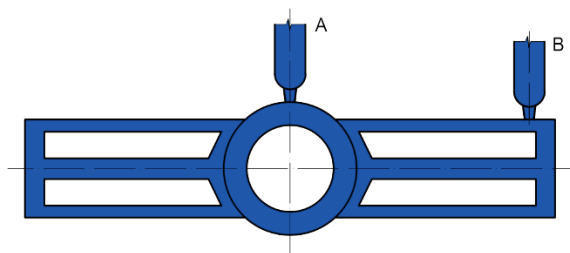
Jestliže po ukončení vstřikovacího cyklu vtoková soustava tuhne v dutině formy a je po otevření vyhozena s výstřikem, jedná se o studený systém. Ten je tvořen hlavním vtokovým kanálem, na něj navazují rozváděcí kanály a těsně před výstřikem se nachází vtokové ústí. V případě využití studeného vtoku nám zůstává po vyrobení vtokový zbytek jako odpadní materiál, který se však dá znovu rozemlít na granulát a opět vstřikovat.

Pro správné umístění vtoku na výstřik je dobré znát základní zásady, aby nedošlo k negativnímu ovlivnění kvality dílce. Proto se radí, dodržovat následující doporučení při konstrukci formy:

- Ústí vtoku je třeba situovat do části výstřiku s největší tloušťkou stěny.
- Vtoky se neumísťují na pohledové stěny výrobku, jelikož po nich většinou zůstávají viditelné stopy. Zvláště u výstřiků s požadavkem na jejich estetickou stránku je třeba vtok skrýt do míst, kde v aplikaci nebude vidět.
- Při volném toku taveniny do dutiny formy, dochází k vzhledovému defektu ve tvaru hada. Tomu lze předejít umístěním vtoku proti překážce, tak aby tavenina mohla téci po stěně. Na obrázku 15 je zobrazeno špatné umístění přímo do středu stěny, kdy se dutina plní volným tokem a správné řešení, kterým je umístění tunelového vtoku proti stěně tvarové dutiny.
- Z hlediska rovnoměrného plnění dutiny je vhodné orientovat vtokové ústí do geometrického středu součásti.
- Jestliže jsou pro daný případ třeba dlouhé tokové dráhy, musí se použít více vtoků. Pro tokové dráhy od jednotlivých vtoků má být dodržena stejná délka.
- Z důvodu koncentrace napětí jsou oblasti vtoků nejslabšími na výstřiku. Proto je potřeba se vyhnout místům, kde bude v důsledku používání výrobku, největší namáhání. Například pokud bude v prostoru s takto nevhodně umístěným vtokem působit velký ohybový nebo krouticí moment. Na obrázku 16 je zobrazen případ součásti, uprostřed které je otvor pro ložisko. To se bude lisovat a tím pádem dojde k namáhání stěn otvoru. Proto není vhodné do bodu A umísťovat vtok. Naopak bod B je vhodnějším místem jelikož zde nepůsobí žádné síly.



Obr. 15 Ukázka špatně umístěného vtoku a správně situovaného proti překážce [24]



Obr. 16 V otvoru bude nalisováno ložisko, proto je bod A nevhodným místem pro umístění vtoku, bod B je lepším řešením [24]

Existuje řada druhů vtoků, kdy každý má své výhody a nevýhody a nachází uplatnění v různých případech, některé základní typy vtoků budou popsány podrobněji.

- **Plný kuželový vtok**

Jeho použití je vhodné u jednonásobných forem a to pro větší výstřiky z termoplastů s horší tekutostí. Mezi hlavní nevýhody patří složitější oddělování od výstřiku a také vznik propadlin v místě, které je naproti vtoku.

- **Bodový vtok**

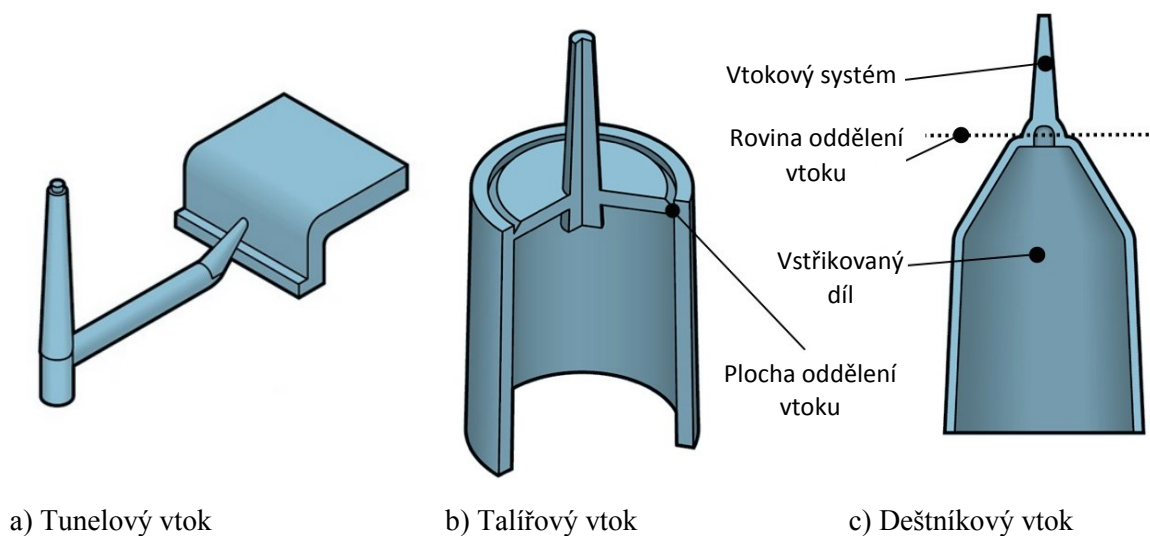
Je vhodný pro tenkostěnné výrobky a umožňuje snadné odtržení vtokového zbytku. Vzhledem k zúžení na konci vtoku, dochází ke zvýšení tření taveniny a tedy i nárůstu její teploty, což má pozitivní vliv na délku toku.

- **Deštníkový a talířový vtok**

Používá se pro součásti s kruhovým průřezem, kdy vtokové ústí je po celém obvodu. Hlavní výhoda je v eliminaci studených spojů, které by vznikaly při obtékání tvarového jádra, v případě plnění dutiny pouze z jedné strany. U talířového vtoku (obr. 17b) dochází k tečení taveniny do dutiny formy v radiálním směru na rozdíl od deštníkového (obr. 17c), kde je směr axiální.

- **Tunelový vtok**

Konstrukce tunelového vtoku umožňuje oddělení vtokového zbytku od výstřiku již při vyhození z dvoudeskové formy a odpadá tak jedna následující operace. Nevýhodou tohoto řešení je složitější výroba elektrojiskrovým hloubením. Tunelový vtok je na obr. 17a.



a) Tunelový vtok

b) Talířový vtok

c) Deštníkový vtok

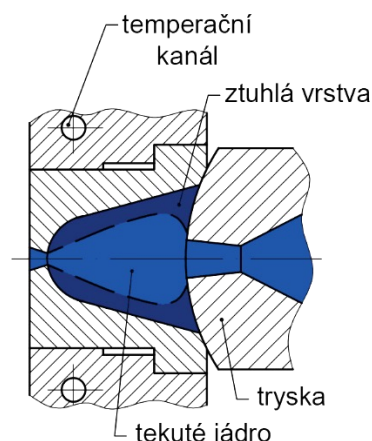
Obr. 17 Řešení různých druhů vtoků [3]

4.1.2 Horký vtokový systém [3], [24], [31]

Princip horkých rozvodů spočívá v tom, že mezi tryskou vstřikovacího stroje a vtokovým ústím je vložen blok s vyhřívanou vtokovou soustavou, která zaručí, že je dopravovaný polymer v roztaveném stavu po celou dobu vstřikovacího cyklu. Tím zcela odpadá problematika studených soustav s odstraňováním vtokových zbytků, jelikož v tomto případě se žádný nevytváří. Vzhledem k nižšímu množství vstřikované taveniny a potřebné kratší době chladnutí se zkracuje i celkový čas cyklu. Absence zbytků dále snižuje náklady na dokončovací práce a odstraňuje problémy se zpracováním regenerátu. Nevýhodou je, že horký vtokový systém nelze použít pro všechny aplikace, ale především je to jeho vyšší složitost a cena.

- **Živý bodový vtok s předkomůrkou**

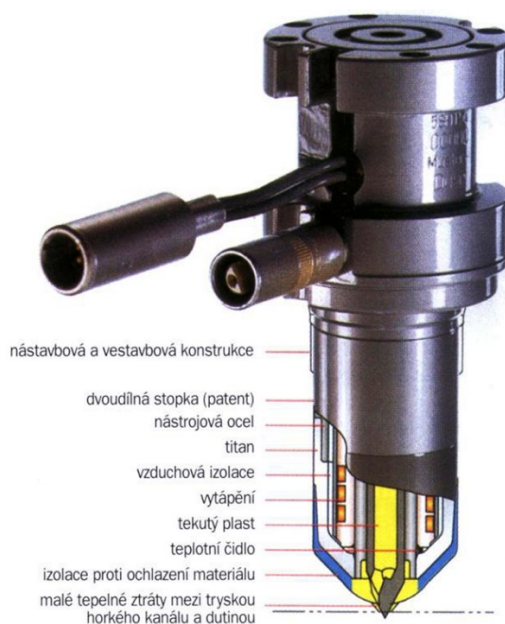
Na vnitřním povrchu kovové komůrky dochází k zatuhnutí vrstvy plastu. Vrstvička poté brání v odvodu tepla z taveniny a izoluje tak stále tekuté jádro. Použití komůrkových vtoků je spojeno s krátkými vstřikovacími cykly, jelikož tavenina uvnitř komůrky nesmí zcela zatuhnout. Na obr. 18 je ukázka tohoto řešení.



Obr. 18 Bodový vtok s předkomůrkou [15]

- **Vyhřívané trysky**

Jedná se o komponenty, které nahrazují živé vtoky. Tryska je umístěna přesně do místa výrobku, odkud chceme, aby docházelo k plnění dutiny. Tavenina uvnitř trysky je ohřívána na požadovanou teplotu, buď vnějším, nebo vnitřním topením a mohou být konstruovány s uzavíratelným ústím nebo jako otevřené. Pro několikanásobné formy se používají rozváděcí bloky vyhřívané odporovým topením a na každou dutinu připadá samostatná vyhřívaná tryska. Taveninu je tak možné dopravit až k ústí vtoku při kontrolované teplotě, jelikož celý systém je vybaven teplotními čidly. Na obrázku 19 je ukázka uzavíratelné trysky a celý systém horkých rozvodů pro trojnásobnou formu je pak na obr. 20.



Obr. 19 Uzavíratelná horká tryska [31]



Obr. 20 Systém třech horkých vtokových trysek [12]

4.2 Temperační systém formy [3], [24]

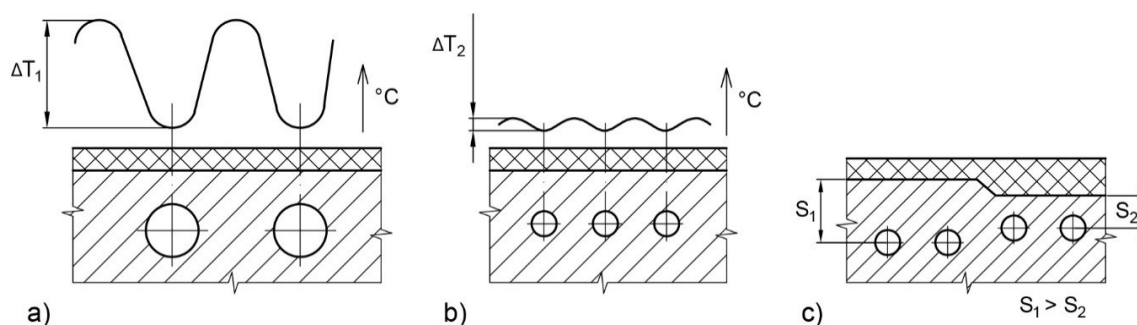
Pro udržení stabilní teploty formy slouží temperační systém. Základní princip a důležitost této soustavy kanálů s chladicím médiem, byl již částečně popsán v kapitole 2.2 v bodě Teplota formy. Neexistuje žádný univerzální návod, jak konstruovat temperační okruhy, ale stejně jako u vtokových systému, lze využít software pro optimalizaci. Programy jako jsou MoldFlow, Cadmould nebo Moldex3D umožňují mimo mnoho dalších analýz, ověřit a zoptimalizovat námi navrženou temperační soustavu. Primárně se jedná o kontrolu rovnoměrnosti doby chlazení po celém průřezu výrobku. Tím se minimalizují problémy s tím spojené jako vznik deformací, povrchové vady, nerovnoměrné mechanické vlastnosti, atd.

4.2.1 Konstrukce temperačního systému [3], [11], [15], [24], [30]

Okruh chlazení bývá pro každou polovinu formy samostatný a v průběhu procesu se musí zajistit stejná teplota pro obě části. U jednodušších výrobků si lze vystačit pouze s vrtanými kanály, kterými proudí voda. V případě složitějších forem, které mají například dlouhý tvárník, existují například přepážkové systémy, šnekové vložky nebo tepelné trubice.

• Temperační kanály

Nejběžnějším řešením temperace, je síť kanálů s kruhovým průřezem, které jsou navrtané v těle formy. Skrze ně proudí chladicí kapalina a odvádí teplo vnesené taveninou. V tomto případě je potřeba správně navrhnout průměry kanálů a jejich polohu vůči stěnám tvarové dutiny. Z hlediska rovnoměrnosti chlazení je vhodnější volit větší množství kanálů s menším průřezem než méně kanálů s velkými průměry (obr. 21a). Na obr. 21b vidíme, že rozdíly teplot na povrchu tvarové dutiny nejsou v případě použití více malých kanálků tak výrazné. Místa, kde jsou stěny výstřiku silnější, by měly chladnout stejnou rychlostí jako ty tenčí, pokud by to nebylo dodrženo, dojde k deformaci dílce. Chladicí systém je tedy třeba přiblížit ke stěně, pokud se průřez dílce zvětšuje (obr. 21c) a v opačném případě jej posunout dál. V tabulce 3 jsou uvedeny doporučené vzdálenosti kanálů a také jejich průměry pro určité rozmezí tloušťek stěn výstřiku. Důležité je také orientovat vstup média do části, kde se nachází vtok a je zde tedy tavenina nejteplejší a rovněž tvarová část formy má v těchto místech vyšší teplotu.



Obr. 21 Ukázka rozmístění temp. kanálů a rozložení teploty na povrchu tvarové dutiny formy [15]

Tab. 3 Doporučené rozměry velikosti kanálů a jejich vzdáleností pro různé tloušťky stěny [3]

t [mm]	s [mm]	v [mm]	ΦD [mm]
0 – 1	10 – 14	10 – 12	5 – 6
1 – 2	10 – 20	12 – 16	6 – 8
2 – 4	20 – 25	16 – 22	8 – 10
4 – 6	25 – 35	22 – 28	10 – 12
6 – 8	32 – 42	28 – 36	12 – 16
8 – 12	42 – 55	36 – 50	16 – 20

Pozn.:

t – tloušťka stěny vstříkovaného dílu

s – vzdálenost osy temperačního kanálu od dutiny formy

v – vzájemná vzdálenost os sousedních temperačních kanálů

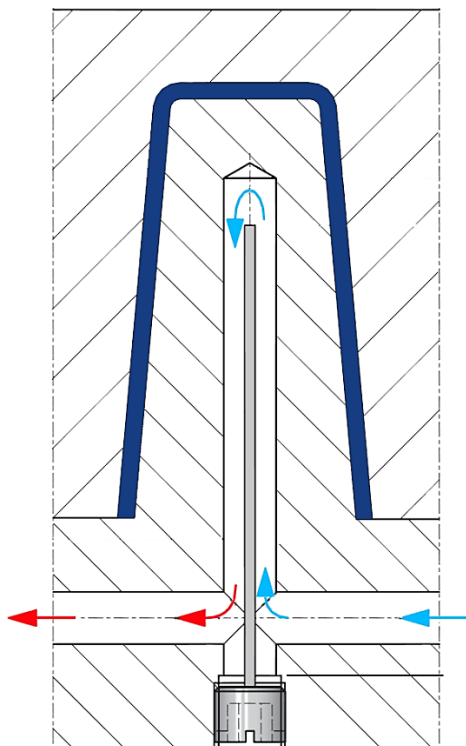
ΦD – Průměr temperačního kanálu

- **Systém plochých přepážek**

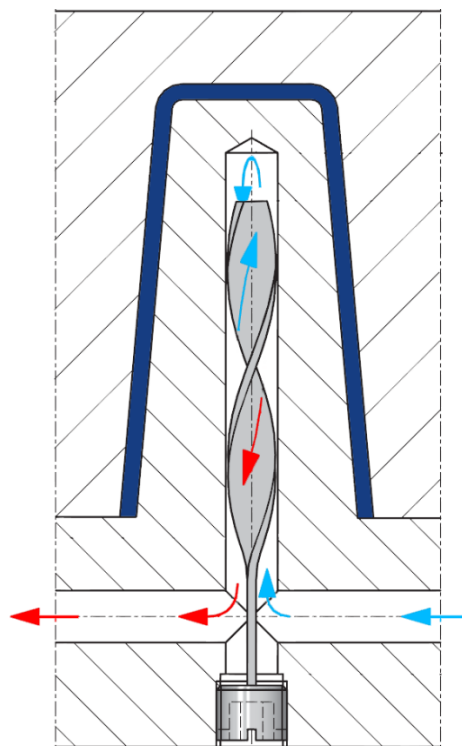
Tímto způsobem lze rozvést chladicí kapalinu do tvárníků, kde by nebylo možné vyrobit síť propojených kanálů nebo jen velice složitě. Zároveň se přepážky používají pro chlazení větví temperačního okruhu, které by jinak byly slepé.

Princip je velice prostý, jak je vidět na obr. 22. Vedlejší kanál, který má osu kolmou na hlavní kanál, je rozdělen přepážkou na dvě stejné poloviny a zároveň přerušuje tok hlavním kanálem. Tím pádem musí médium proudit nahoru, na konci přepážky změni směr a teče zpět do hlavního kanálu.

Nevýhodou tohoto řešení je nutnost přesného umístění přepážky, tak aby rozdělila vedlejší kanál na dvě stejné poloviny a docházelo tak ke stejné intenzivnímu chlazení v obou částech. Velkou výhodou je však jednoduchost a nízké náklady na tento systém. Přepážky jsou většinou nakupovaným dílem a lze je snadno ukotvit pomocí závitové vkládací plochy.



Obr. 22 Temperační kanál s rovnou přepážkou.
[18]



Obr. 23 Temperační kanál se spirálovou přepážkou [18]

- **Systém spirálových přepážek**

Spirálové nebo šnekové přepážky fungují v zásadě velmi podobně jako ploché přepážky. Kapalina je v tomto případě přivedena do vedlejšího kanálu jedním závitem spirály a poté co přeteče přes vrch přepážky, je odvedena druhým závitem ven do hlavního kanálu (obr. 23).

Oproti předcházejícímu způsobu je možné pomocí spirály dosáhnout téměř homogenního teplotního pole v oblasti, která je temperovaná tímto systémem. Průměr vedlejšího kanálu, do kterého vstupuje spirálová vložka, by neměl být menší než 6 mm, což může být u některých výrobků limitující.

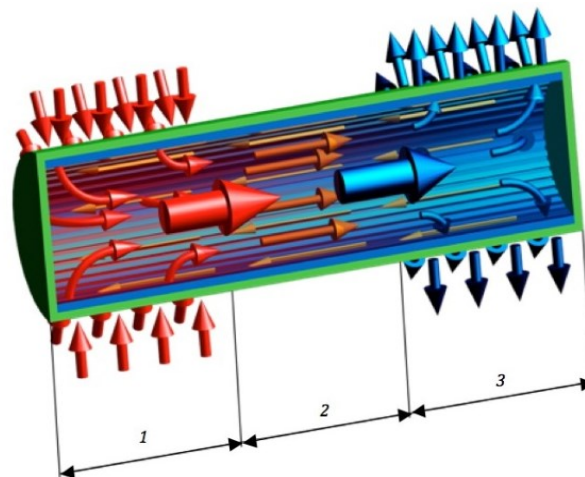
Tato metoda chlazení se využívá také pro temperaci vysokých tvárníků, kdy se velké spirálové jádro umístí do dutiny tvárníku. Dírou vyvrtanou uvnitř jádra proudí kapalina až k horní ploše a po spirále stéká zpět do hlavního rozváděcího kanálu.

- **Tepelné trubice**

Nejčastěji se jedná o měděnou nebo ocelovou trubku kruhového průřezu, jejíž dutina je vyplněna malým množstvím kapalně pracovní látky (čpavek, etanol, freon, voda, atd.), a na obou koncích je hermeticky uzavřená. Jakmile dojde k zahřívání jednoho konce, kapalina se začne odpařovat a zvýší se tlak v trubici. Druhý konec trubice je chlazený, tím pádem páry uvnitř začnou kondenzovat a předávat teplo médiu protékajícímu hlavním temperačním kanálem. Kondenzát poté ztéká zpět a je znovu ohříván. Jestliže je ohříváný konec výše než chlazený, musí mít vnitřní stěny trubice speciální povrchovou úpravu, která umožní zkondenzované kapalině vzlínat zpět. Mezi kondenzační a výparnou částí je určitý neaktivní úsek, ve kterém nedochází k tepelné výměně s okolím. Princip funkce je znázorněn na obr. 24.

U chlazení forem, může tento systém nahradit různé druhy přepážek, ale je třeba přizpůsobit hlavní kanál tak, aby médium obtékalo a tím chladilo kondenzační část tepelné trubice. Při vkládání trubice do vedlejšího kanálu, nesmí vzniknout vzduchová mezera mezi oběma stěnami, protože by došlo ke snížení přenosu tepla. Z tohoto důvodu se na kontaktní plochy nanáší vysoce tepelně vodivý gel, který případné mezery vyplní.

V závislosti na geometrii vstřikovaného dílu, je temperační systém sestaven jako kombinace výše uvedených variant, jen u velmi jednoduchých forem si konstruktér vystačí s prostými kanálky. Vstupy a výstupy temperačního média se musí ještě opatřit rychlospojkami pro připojení hadic. Otvory, které vznikly po vrtání kanálů, a nebudou sloužit k cirkulaci média, se zatěsní ucpávkami.



1 – výparná část, 2 – adiabatická část, 3 – kondenzační část

Obr. 24 Tepelná trubice [3]

- **Účinnost temperačního systému je ovlivněna mnoha faktory:**

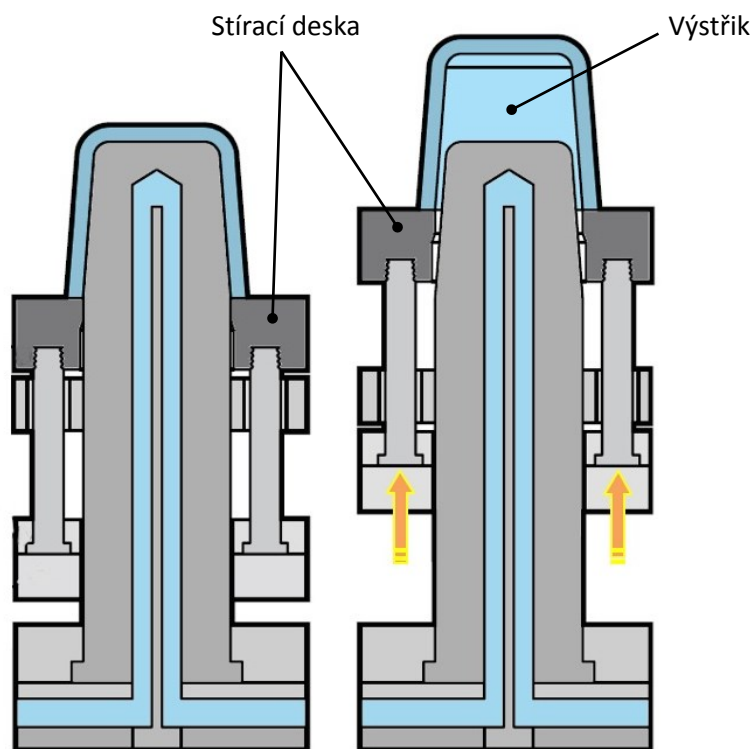
- Množstvím odvedeného tepla z dutiny formy, záležícím na množství chladícího média, které proteče skrze soustavu, a na jeho teplotním spádu při vstupu a výstupu. Zmiňovaný teplotní spád by měl z důvodu rovnoměrnosti ochlazování dutiny formy, být v rozmezí 3 – 5 °C.
- Tepelnou vodivostí materiálů použitých na jednotlivé části formy. Pro intenzivní chlazení se používají i materiály jako měď a její slitiny nebo hliník, které se přímo navažují na místa v tvarové dutině.
- Tepelnou vodivostí vstřikovaného plastu. Přenos tepla často nemusí být limitován vedením skrze materiál formy, ale právě o dva řády nižší tepelnou vodivostí polymerů. Proto není použití vysoce tepelně vodivých materiálů univerzálním řešením.
- K omezení odvodu tepla dochází i vlivem smrštění. V průběhu ochlazování vznikne v důsledku smršťování vzduchová mezera mezi výstřikem a stěnou formy, která má ještě o řád nižší tepelnou vodivost než plasty.

- e) Použitím horké vtokové soustavy. Jestliže jsou formy temperovány na vyšší teploty, jako je tomu u většiny konstrukčních plastů, lze toto ovlivnění zanedbat. Jinak je třeba rozváděcí bloky opatřit izolační vrstvou.
- f) Zanášením kanálů temperačních okruhů. V případě, že je chladícím médiem voda, dochází ke vzniku usazenin a ke korozi kanálů, což má za následek jejich zanášení a tedy horší průtok média. Je tedy třeba systém pravidelně čistit například 30% roztokem kyseliny chlorovodíkové.

4.3 Vyhazovací systém [3], [24]

Na konci vstřikovacího procesu se forma otevře, ale výstřik po ochlazení zůstává vlivem smrštění uchycen na tvárníku. K vyjmutí dílce se někdy může použít manipulační robot nebo jej manuálně vyndá obsluha, tyto způsoby jsou však méně časté. Mnohem více se používá vyhazovacího systému, který je součástí formy a je ovládán buď přímo v důsledku pohybů jednotlivých částí formy, nebo samostatným hydraulickým pohonem.

Pro návrh vyhazovacího systému je zapotřebí znát vyhazovací sílu, která musí být dostatečně velká k odtržení dílce od tvarové části, ale zároveň musí být volena tak, aby nedošlo k jeho poškození. Tato síla závisí na mnoha faktorech, jako je koeficient tření mezi tvárníkem a plastem, teplotě výstřiku při vyhazování, velikosti úkosů tvárníku, podtlaku vznikajícímu při vyhazování, atd. Nejčastějším způsobem vyhazování, je použití vyhazovacích kolíků, stíracích desek, stlačeného vzduchu nebo trubkového vyhazovače. Každá varianta má své klady a zápory a je vhodná pro určité typy výlisků, záleží tedy na volbě konstruktéra, který způsob vybere.



Obr. 25 Vyhazovací systém řešený pomocí stírací desky [3]

5 NÁVRH KONSTRUKCE FORMY

Správný návrh formy je klíčovým krokem pro zhotovení kvalitních výstřiků. Konstrukci je třeba provést tak, aby každý systém plnil potřebnou funkci a zároveň nedocházelo k tomu, že mezi sebou budou kolidovat. Vše musí být vyřešeno při zachování dostatečné tuhosti formy, která je vystavena namáhání, především v důsledku vysokého vstřikovacího tlaku. Neméně důležitá je poté samotná výroba jednotlivých dílů formy, volba vhodných ocelí a tepelného zpracování pro tvarové části, kde je třeba dbát na vysokou přesnost a mechanické vlastnosti.

Technologií vstřikování není možné vyrobit součást, která má zcela libovolný tvar, a již při jejím návrhu se uvažuje jeho vyrobitelnost. V první řadě musí být dílec zaformovaný takovým způsobem, aby byly po naplnění tvarové dutiny vytvořeny všechny geometrické tvary a šlo jej lehce vyjmout z nástroje.

5.1 Technologičnost tvaru součásti a jeho zaformování [15], [16], [24]

Geometrie plastového krytu je zadána (výkres viz přílohy) včetně požadavků na vlastnosti materiálu a byly také definovány místa na výstřiku, na které budou zvýšené nároky z hlediska přesnosti rozměrů případně mechanického zatížení (viz kapitola 1). S ohledem na zadanou výrobní sérii, která činí 100 000 kusů a na zvolený termín dodání do 3 měsíců bude vypočtena termínová násobnost, která určí, počet tvarových dutin formy. V návaznosti na to se výstřik zaformuje takovým způsobem, aby nebyla forma z hlediska vyrobitelnosti komplikovaná.

Konstrukci vstřikovacího nástroje předchází ověření technologičnosti tvaru dílce, pro zajištění bezpečného odformování. Materiál výstřiku nebyl stanoven a zbývá tedy vyřešit ještě otázku vhodného konstrukčního plastu. Na základě technologických výpočtů bude poté vybrán vstřikovací stroj.

• Výpočet termínové násobnosti formy

1) Doba chlazení t_K [s]

$$t_K = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln \left(\frac{8 \cdot (T_M - T_F)}{\pi^2 \cdot (T_E - T_F)} \right) = \frac{4,1^2}{\pi^2 \cdot 0,088} \cdot \ln \left(\frac{8 \cdot (295 - 100)}{\pi^2 \cdot (130 - 100)} \right) = 32,2 \text{ s} \quad (5.1)$$

s... střední tloušťka stěny výstřiku [mm]

T_M ...teplota taveniny [°C]

T_E ...teplota odformování [°C]

T_F ...teplota formy [°C]

a_{eff} ...efektivní teplotní vodivost materiálu [mm²/s]

2) Doba vstřikovacího cyklu t_C [s]

$$t_C = t_V + t_K + t_N = 2,6 + 32,2 + 4 = 38,8 \text{ s} \quad (5.2)$$

t_V ...doba vstřikování [s]

t_N ...vedlejší čas [s] (otevření, uzavření formy, přísun vstřikovací jednotky,...)

Dále bude ve výpočtech použita zaokrouhlená doba vstřikovacího cyklu $t_C = 39$ s.

3) Termínová násobnost n_T [-]

$$n_T = \frac{N \cdot t_C}{\tau_P \cdot K \cdot 3600} = \frac{100\,000 \cdot 39}{2160 \cdot 0,85 \cdot 3600} = 0,59 \quad (5.3)$$

N...velikost výrobní série [ks]

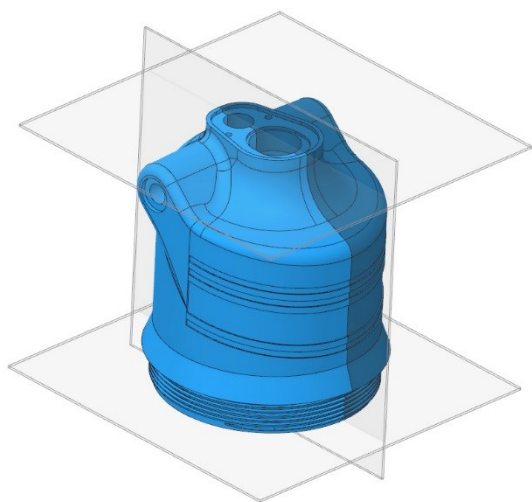
τ_P ...požadovaný termín splnění dodávky [hod]

K...faktor využití pracovního času [-] ($0,7 \div 0,9 \Rightarrow$ zvoleno 0,85)

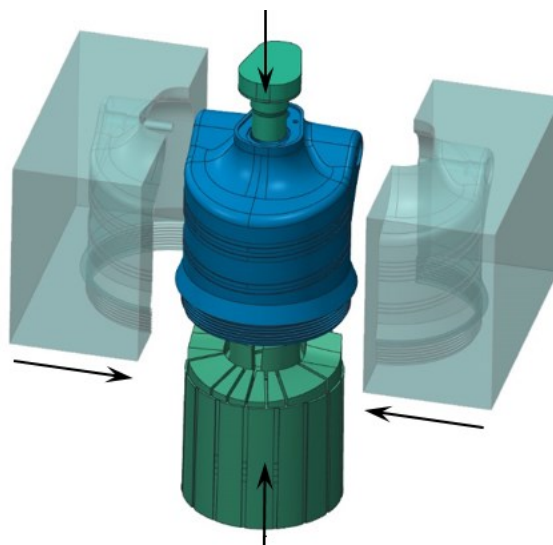
Na základě výpočtu termínové násobnosti (viz rovnice 5.3) je volena jednonásobná forma.

- **Způsob zaformování**

Dělicí rovina je rozdělena do tří částí a to na první, kterou je rovina symetrie dílce, druhou je rovina rovnoběžná s horní plochou a třetí je rovnoběžná se spodní plochou pod závitem, která bude současně rozhraním mezi pevnou a pohyblivou částí formy (obr. 26). Takto nevznikne žádný problém s řešením negativních úkosů na vnější geometrii, který by nastal v případě jakéhokoli jiného rozvržení. Jádra, která umožní vznik bočních otvorů, budou součástí tvárnic, tvořících celý vnější tvar kromě horní plochy dílce. Otvor pro umístění ložiska a pro přívod kabeláže budou spolu se zbytkem horní plochy formováni malým tvárníkem. Vnitřní část bude potom kompletně vytvořena velkým tvárníkem, na kterém vlivem smrštění ulpí dílec a po otevření formy bude vyhazovacím systémem stažen. Aby na pohledové straně výstřiku nevznikla výrazná stopa v místě, kde se stýkají tvárnice, bude třeba jejich precizní výroba a následně přesné vedení, které znemožní možné vychýlení vůči sobě. Pro lepší názornost je rozvržení jednotlivých tvarových částí formy uvedeno na obr. 27.



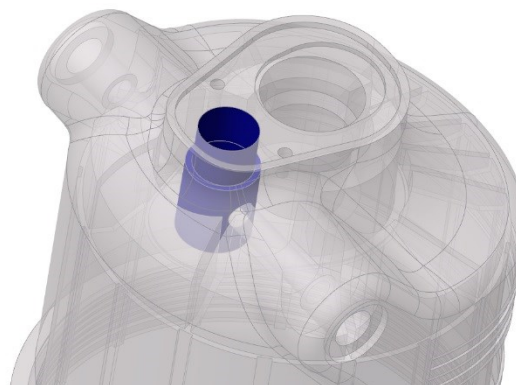
Obr.26 Rozložení dělicích rovin



Obr.27 Způsob zaformování

- **Umístění vtoku na výstřiku**

Poloha vtoku byla zvolena do menšího horního otvoru (obr. 28), který slouží pro přívod kabeláže a nejedná se tedy o místo, které by bylo mechanicky namáhané nebo na něj byly kladeny požadavky z hlediska dobrého vzhledu. Vtok je zároveň situován do místa s největší tloušťkou stěny, jak bývá doporučováno. Ještě vhodnější by bylo umístit jej do geometrického středu, tedy do oblasti většího otvoru. Zde však bude nalisováno valivé ložisko a je tedy předpoklad zvýšeného namáhání těchto míst. Po studené vtokové soustavě, která byla pro tento případ zvolena, zůstávají nerovnosti a vzhledem k požadavku na přesnost díry by bylo nutné dodatečně převrtat otvor na přesný rozměr.



Obr.28 Zvolená oblast pro umístění vtoku

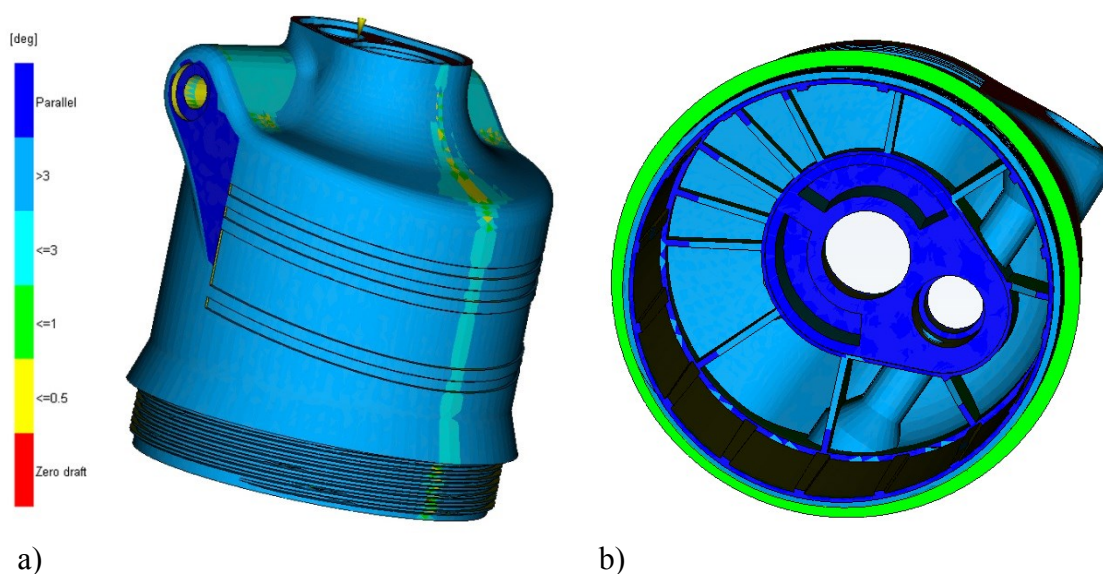
- **Technologické úkosy**

Stěny kolmé na dělicí rovinu je třeba opatřit technologickými úkosy, aby bylo možné snadné odformování. V tomto případě, musí být úkosy také na stěnách rovnoběžných se směrem pohybu tvárníků, jelikož při otevírání formy bude výstřik stažen z malého tvárníku a

poté vyhazovacím systémem i z velkého, tvořícího vnitřek součásti. Doporučuje se používat na vnější plochy úkosy $0,5 - 1^\circ$ a pro vnitřní $1 - 2^\circ$, záleží také na struktuře povrchu. Pokud má mít součástka povrchový dezén je potřeba zvětšit úkosy, aby nedošlo k poškození dílce při vyhození.

Pro ověření, zda jsou všechny plochy opatřeny dostatečnými úkosy, bylo využito jednoduché analýzy, kterou poskytuje software Moldflow Adviser 2015. Na obr. 29 jsou výsledky zmiňovaného rozboru. Tmavě modrou barvou jsou označeny oblasti, které jsou rovnoběžné s dělicí rovinou, a není tedy třeba na nich dělat úkosy. Ostatní barvy pak znázorňují rozsahy hodnot podle uvedené legendy až po červenou, která značí nulový sklon.

Je zřejmé, že velikosti úkosů jsou pro dělicí rovinu (obr. 29a) v pořádku, boční otvor má sklon plochy pouze $0,5^\circ$ což je vzhledem k její délce a kvalitě povrchu dobré. Ani odformování velkého tvárníku nebude dělat problémy, jelikož jsou všechny úkosy uvnitř dílce dostatečné (obr. 29b).



Obr. 29 Výsledky analýzy velikosti úkosů provedené v softwaru Moldflow Adviser 2015

5.2 Volba materiálu [6], [7], [8], [14]

Plast použitý na výrobu zadaného krytu by měl splňovat především požadované zvýšené mechanické vlastnosti, které zajistí rozměrovou stabilitu v průběhu provozu uvnitř uloženého elektromotoru. Součást by si měla zachovat pevnost i za vyšší teploty okolo 60°C . Dále bude třeba materiál, který je samozhášivý a má dostatečné elektroizolační vlastnosti. Jako vhodné plasty pro tento účel byly uvažovány polykarbonát (PC), polyoxymetylén (POM) a polyamid 66 (PA 66). Obecné vlastnosti této trojice materiálů jsou blíže specifikovány v kapitole 2.1.

Pro srovnání a následnou volbu nejvhodnějšího materiálu byly vybráni konkrétní zástupci zmiňovaných druhů plastů:

- Zytel 70G25HSL DuPont (PA 66)
- Tecotek PC30 GR20 GR003 ZG20 Eurotec (PC)
- Tecoform PO20 GR20 NL HS Eurotec (POM)

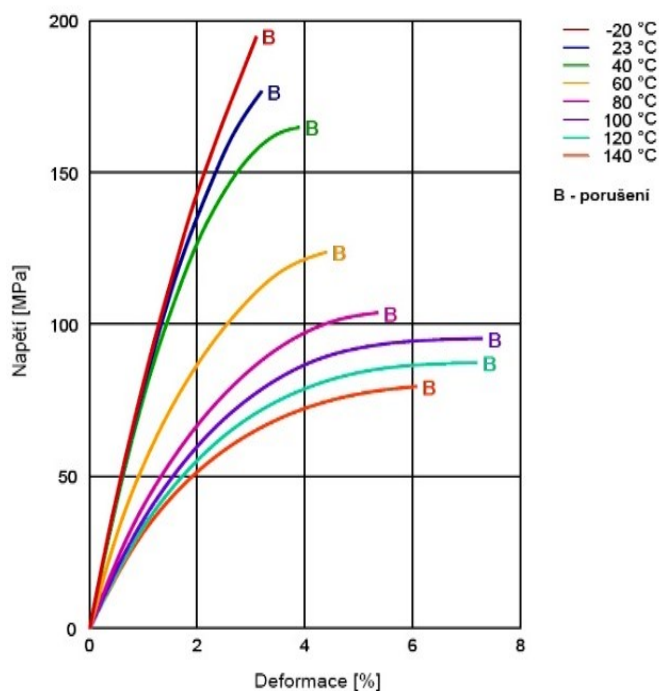
V tabulce X jsou vybrané hodnoty mechanických, tepelných, zpracovatelských a dalších vlastností.

Tab. 4 Porovnání parametrů jednotlivých materiálů [7], [8]

Parametr		Jednotka	Zytel (PA66)	Tecotek (PC)	Tecoform (POM)
Modul pružnosti v tahu		MPa	8600	7000	7000
Mez pevnosti v tahu		MPa	188	95	115
Tažnost		%	3,1	2,5	3
Vrubová houževnatost	+23°C	kJ/m ²	10	10	7
	-30°C	kJ/m ²	10	8	6
Teplota deformace při zatížení	0,45 MPa	°C	263	145	-
	1,8 MPa	°C	245	135	155
Teplota tání		°C	263	-	165
Elektrická pevnost CTI		V	400	175	500
Smrštění		%	0,7	0,5	1,05
Hustota		g/cm ³	1,33	1,38	1,54
Absorpce vlhkosti (50% RH, 23°C)		%	2	0,2	0,2

Materiál od společnosti DuPont pod obchodním označením Zytel 70G25HSL (PA66), je podle výše uvedeného srovnání vybrán jako nejvhodnější, jelikož vykazuje lepší mechanické vlastnosti než zbývající dva a to ve všech ohledech. Jedinou nevýhodou zvoleného plastu je vyšší navlhavost, ale ta není pro danou aplikaci rozhodující.

Zytel 70G25HSL (PA66) obsahuje rovněž retardéry hoření, takže je i dostatečně odolný proti šíření plamene. Na obr. 30 je zobrazena závislost napětí na deformaci při různých teplotách, z kterého je patrné, že při běžných tepelných podmínkách, v kterých bude zařízení nejčastěji používáno, je materiál dostatečně odolný. Při vyšších teplotách by bylo třeba



Obr. 30 Závislost napětí – deformace pro různé teploty [7]

způsob a velikost namáhání, aby bylo možné přesně určit, do jaké teploty kryt odolá zatížení. Podrobně jsou vlastnosti vybraného materiálu popsány v materiálovém listu v příloze 1.

5.3 Výpočet technologických parametrů a volba stroje

Ke správné volbě stroje musíme znát nejprve důležité parametry vycházející z rozměrů vstříkované součásti, použitého materiálu a velikosti formy. Na základě těchto údajů lze vybrat stroj s uzavírací jednotkou, která dovede vyvodit dostatečnou přidržovací sílu a vstříkovací jednotku s potřebnou plastikační kapacitou.

5.3.1 Technologické parametry [7], [15]

- 1) Objem vstříkovaného dílce V [cm^3].

$$V = 133,29 \text{ cm}^3 \quad (5.4)$$

Objem byl určen v softwaru Creo Parametric 2.0.

- 2) Hmotnost dílce G [g].

$$G = V \cdot \rho = 133,29 \cdot 1,33 = 177,28 \text{ g} \quad (5.5)$$

ρ ... hustota materiálu [g/cm^3] (uvedeno v materiálovém listu viz příloha 1)

- 3) Délka dráhy toku taveniny f_c [mm].

$$f_c = 157,96 \text{ mm} \quad (5.6)$$

Délka dráhy toku byla určena orientačním výpočtem v softwaru Creo Parametric 2.0.

- 4) Vstříkovaný objem taveniny V_D [cm^3].

$$V_D = V + V_{vtok} = 133,29 + 1,55 = 134,84 \text{ cm}^3 \quad (5.7)$$

V_{vtok} ... objem vtokové soustavy [cm^3].

- 5) Minimální plnicí tlak p_f [bar].

$$p_f = 3,25 \cdot K_f \cdot f_c \cdot s^{-1,6} = 3,25 \cdot 1,7 \cdot 157,96 \cdot 4,1^{-1,6} = 91,3 \text{ bar} \quad (5.8)$$

K_f – faktor schopnosti tečení [bar/mm] (nebylo uvedeno v materiálovém listu, hodnota byla vybrána z tabulky v příloze 2, kde jsou uvedeny materiálové hodnoty pro PA66 GF od výrobce BASF)

s – střední tloušťka stěny výstřiku [mm]

- 6) Vstříkovací tlak p_v [bar].

$$p_v = 650 \div 1550 \Rightarrow \text{zvoleno } p_v = 1200 \text{ bar} \quad (5.9)$$

Rozsah doporučeného vstříkovacího tlaku byl převzat z tabulky v příloze 3 materiálových hodnot pro obecný PA66. Z uvedeného rozmezí musí být volen tlak vyšší, než byl vypočítaný minimální plnicí tlak p_f ve vztahu 5.8.

- 7) Tvářecí tlak p_A [bar].

$$p_A = \frac{p_v}{2} + 100 = 700 \text{ bar} \quad (5.10)$$

- 8) Plocha průmětu tvarové dutiny do dělicí roviny A_D [cm^2].

$$A_{D1} = 81,4 \text{ cm}^2 \quad (5.11)$$

Plocha byla určena v softwaru Creo Parametric 2.0.

- 9) Přidržovací síla F_P [kN]

$$F_P = A_{D1} \cdot \frac{p_A + 100}{100} = 81,4 \cdot \frac{700 + 100}{100} = 651,2 \text{ kN} \quad (5.12)$$

10) Optimální průměr šneku D_s [mm].

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} \quad (5.13)$$

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} = 7,5 \cdot \sqrt[3]{134,84} = 38,5 \text{ mm}$$

$$10,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} = 10,5 \cdot \sqrt[3]{134,84} = 53,8 \text{ mm}$$

$$38,5 < D_s < 53,8 \text{ mm}$$

Průměr šneku se volí z řady existujících průměrů: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90 mm. Z řady rozměrů, které splňují výše uvedenou podmínku je volen průměr $D_s = 40$ mm.

11) Délka dráhy pohybu šneku L_s [mm].

$$L_s = \frac{V_D \cdot 4 \cdot 1000}{\pi \cdot D_s^2} = \frac{134,84 \cdot 4 \cdot 1000}{\pi \cdot 40^2} = 107,3 \text{ mm} \quad (5.14)$$

Musí být splněna následující podmínka:

$$1D_s < L_s < 3D_s$$

$$40 \text{ mm} < 107,3 \text{ mm} < 135 \text{ mm} \Rightarrow \text{podmínka je splněna.}$$

12) Otáčky šneku vstřikovacího stroje pro plastifikaci n_s [min^{-1}].

$$n_s = \frac{60 \cdot 1000 \cdot v}{\pi \cdot D_s} = \frac{60 \cdot 1000 \cdot 0,2}{\pi \cdot 45} = 95,5 \text{ min}^{-1} \quad (5.15)$$

v – maximální obvodová rychlost šneku [m/s] (viz příloha 1)

13) Vstřikovací rychlost v_s [cm^3/s]

$$v_s = \frac{V_D}{t_V} = \frac{134,84}{2,6} = 51,9 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (5.16)$$

14) Plastikační kapacita [kg/h].

$$C_P \geq \frac{4 \cdot n_T \cdot \rho \cdot V_D}{t_C} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 1,33 \cdot 134,84}{39} = 18,4 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \quad (5.17)$$

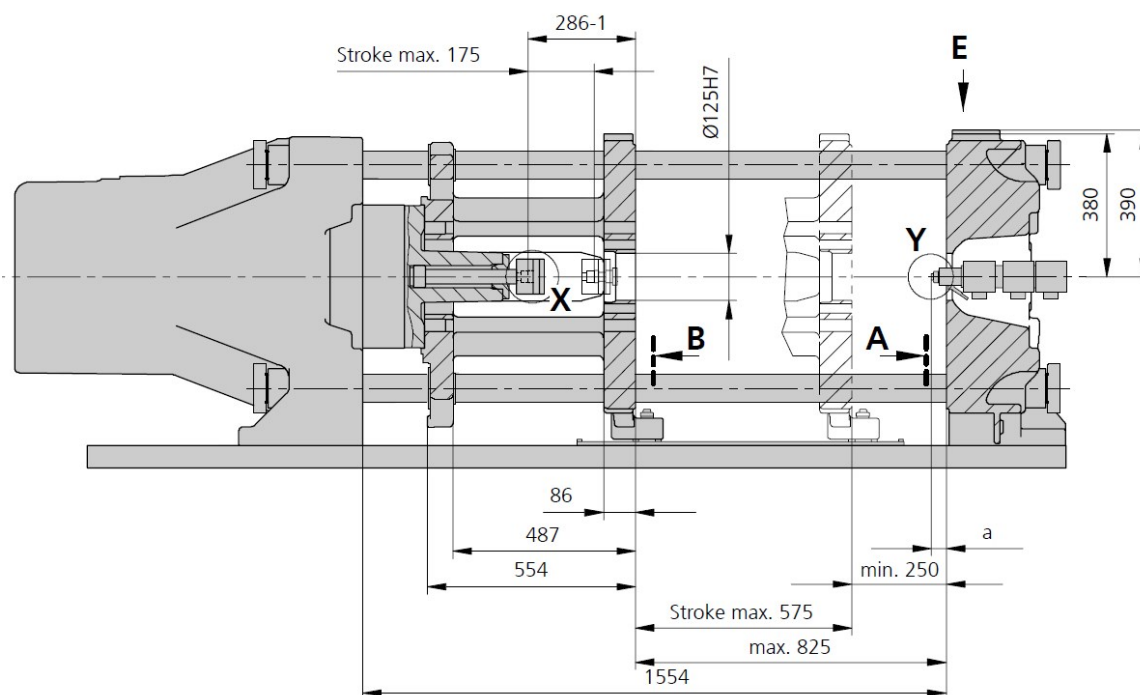
15) Vstřikovací kapacita

$$C_V \geq 1,1 \cdot n_T \cdot V_D = 1,1 \cdot 1 \cdot 134,84 = 148,3 \text{ cm}^3 \quad (5.18)$$

5.3.2 Posouzení parametrů a výběr stroje [1], [15]

Na základě uvedených výpočtů v kapitole 5.2.1 jsou jasné specifikovány požadavky na velikost jednotlivých parametrů stroje. Vždy je třeba vybírat vstřikolis, který mírně převyšuje nároky, aby zde byla dostatečná rezerva během odlaďování formy. Nezbytné jsou i rozměry uzavírací jednotky pro instalaci formy a také rozsah chodu pohyblivé desky a vyhazovacího systému.

Vybraným strojem je typ Allrounder 520 S od německého výrobce Arburg, na obrázku 31 jsou zakótovány důležité rozměry uzavírací jednotky. V tabulce 5 jsou potom porovnány požadované parametry s těmi, které dosahuje zvolený vstřikovací stroj a zároveň je zde zhodnoceno, zda splňuje dané kritérium.



Obr. 31 Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje Allrounder 520 S [1]

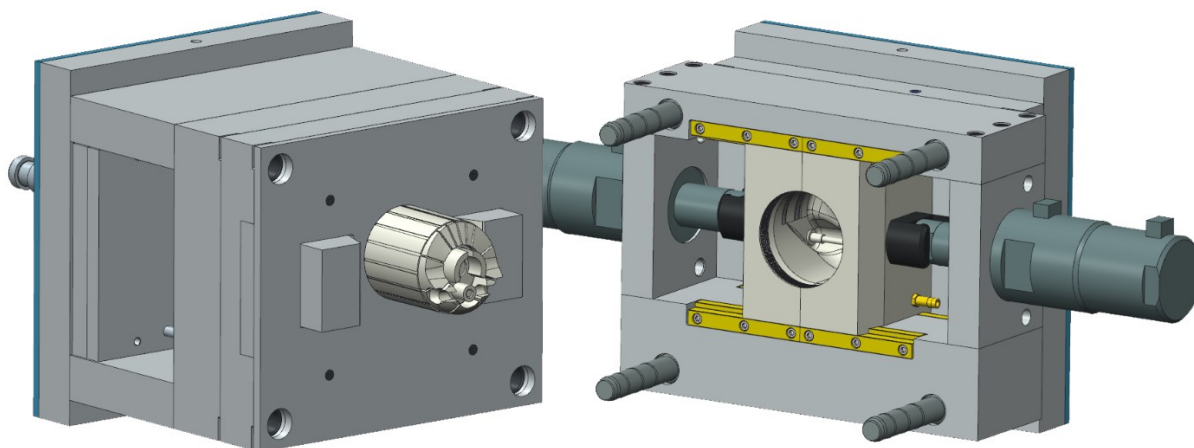
Tab. 5 Srovnání parametrů stroje s požadovanými parametry [1]

Parametr	Jednotka	Požadovaná hodnota	Allrounder 520 S	Splnění požadavku
Přidržovací síla	kN	651	1300	Ano
Průměr šneku	mm	40	40	Ano
Vstřikovací kapacita	cm ³	148,3	188	Ano
Plastikační kapacita	kg/h	18,4	24,5	Ano
Vstřikovací tlak	bar	1200	1530	Ano
Vstřikovací rychlost	cm ³ /s	51.9	232	Ano
Délka pohybu šneku	mm	107,3	150	Ano
Vzdálenost mezi deskami	mm	773	825	Ano
Minimální výška formy	mm	523	250	Ano
Maximální výška formy	mm	523	575	Ano
Vzdálenost mezi sloupky	mm	346 x 346	520 x 520	Ano
Pohyb vyhazovacího syst.	mm	115	175	Ano

Zvolený stroj má větší rezervu v přidržovací síle, to ale z toho důvodu, že musel být vybrán stroj z vyšší kategorie kvůli rozměrům uzavírací jednotky. Navržená forma se bude pro bezpečné vyhození výstřiku otevírat o 250 mm, když se k tomu připočte výška formy, která je 523 mm, bude třeba vzdálenost mezi upínacími deskami na stroji alespoň 773 mm. U stroje Allrounder 520 S je tato vzdálenost 825 mm což je dostatečné. Podrobná specifikace stroje je v příloze 4.

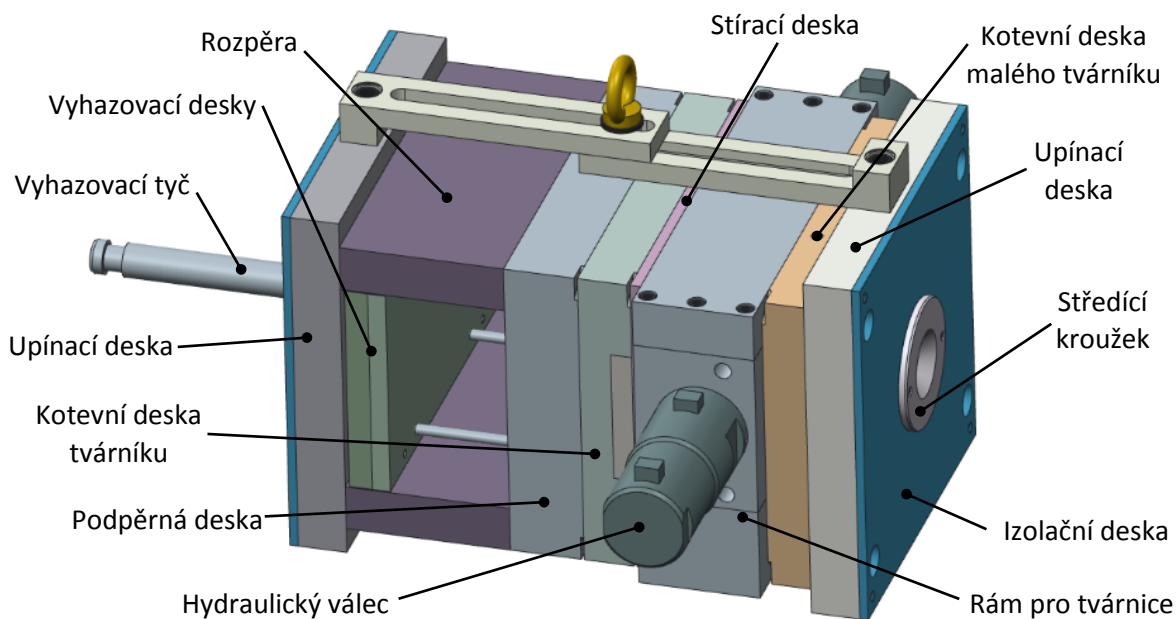
5.4 Konstrukce jednonásobné vstřikovací formy

Podle výpočtu termínové násobnosti je forma pro kryt elektromotoru řešena jako jednonásobná. Návrh zaformování a rozdělení jednotlivých tvarových částí, bylo již naznačeno. Na obr. 32 je pohled na obě poloviny formy samostatně. Tvarová dutina se bude skládat z malého tvárníku připevněného na desce spojené s pevnou částí uzavírací jednotky. Do menšího válce, tvořícího na dílci otvor pro kabeláž, bude ústít vtoková soustava. Boční tvárnice, které formují vnější tvar, se vždy před otevřením formy rozjedou do stran. Následně se dá do chodu pohyblivá část formy, jejíž součástí je velký tvárník. Na něm zůstává po otevření ulpělý výstřik. Pro jeho stažení slouží stírací deska spojená s vyhazovacím systémem.



Obr. 32 Pohled na pohyblivou (vlevo) a pevnou polovinu formy v rozloženém stavu

Jakmile výrobek opustí prostor uzavírací jednotky, tvárnice se opět přiblíží k sobě a velký tvárník zajíždí zpět do dutiny a uzavírá ji. Není možné, aby byla posloupnost obrácena, tedy že by nejprve zajel tvárník a po něm až se uzavřely tvárnice, jelikož pohyblivá část je vybavena přitlačnými klíny, které brání právě rozjetí bočních dílů v průběhu vstřikování. Základní popis jednotlivých částí formy je na obr. 33.



Obr. 33 Základní popis jednotlivých desek formy

5.4.1 Vtoková soustava [3], [9], [18]

Pro naplnění tvarové dutiny byla zvolena studená vtoková soustava. Jakmile je přisunuta vstřikovací jednotka stroje a je zahájen výrobní cyklus prochází tavenina skrze vtokovou vložku v pevné upínací desce. Dále proudí skrze plynule navazující kuželový otvor v malém tvárníku až k vtokovému ústí. To je řešeno pomocí talířového vtoku, kterým materiál teče do dutiny v radiálním směru po celém obvodu výsledné díry. Je tak zajištěno rovnoměrné plnění tvarové dutiny.

- **Dimenzování vtokové soustavy**

V závislosti na tloušťce stěny s budou určeny rozměry talířového vtoku. S ohledem na to bude potom volena vtoková vložka. Na obrázku 35 jsou zakótovány obecné rozměry talířového vtoku, které je třeba určit.

- 1) Průměr ústí rozváděcího kanálu d_1 [mm].

$$\text{pro } s \geq 4: d_1 = s + 1 \div 2 \text{ mm} = 4,1 + 1,6 = 5,7 \text{ mm} \quad (5.19)$$

Z rozmezí $1 \div 2$ mm, které se přičítá k tloušťce stěny, byla volena hodnota 1,6 mm.

- 2) Tloušťka ústí t_1 [mm].

$$t_1 = 0,5 \div 1 \cdot s = 0,5 \cdot 4,1 = 2,05 \text{ mm} \quad (5.20)$$

Z rozmezí $0,5 \div 1$ mm, kterým se násobí tloušťka stěny, byla volena hodnota 0,5.

- 3) Šířka ústí l_1 [mm].

$$l_1 = 1 \div 3 \text{ mm} = 2 \text{ mm} \quad (5.21)$$

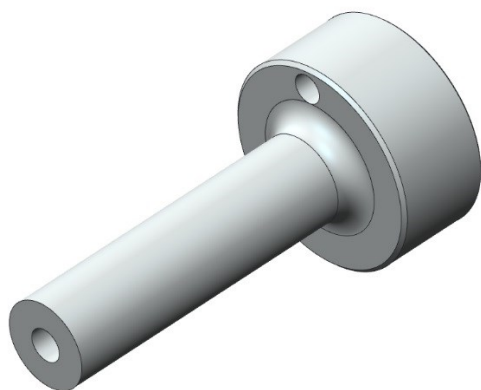
- 4) Tloušťka talířového vtoku t_2 [mm].

$$t_2 = s = 4,1 \text{ mm} \quad (5.22)$$

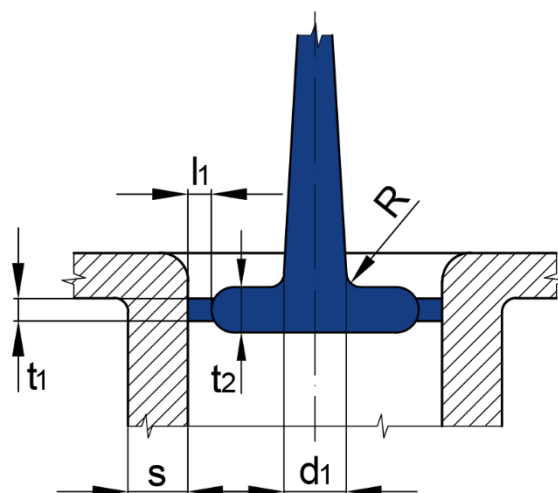
- 5) Poloměr přechodu z kanálu do talířového vtoku R [mm].

$$0,5 \text{ mm} \geq R = 0,4 \text{ mm} \quad (5.23)$$

Při výrobě vtoku je lepší zhotovit rozměry raději menší. Pokud se při odzkoušení formy zjistí, že je velikost nedostatečná, není problém tvarovou vložku s vtokem obráběním zvětšit.



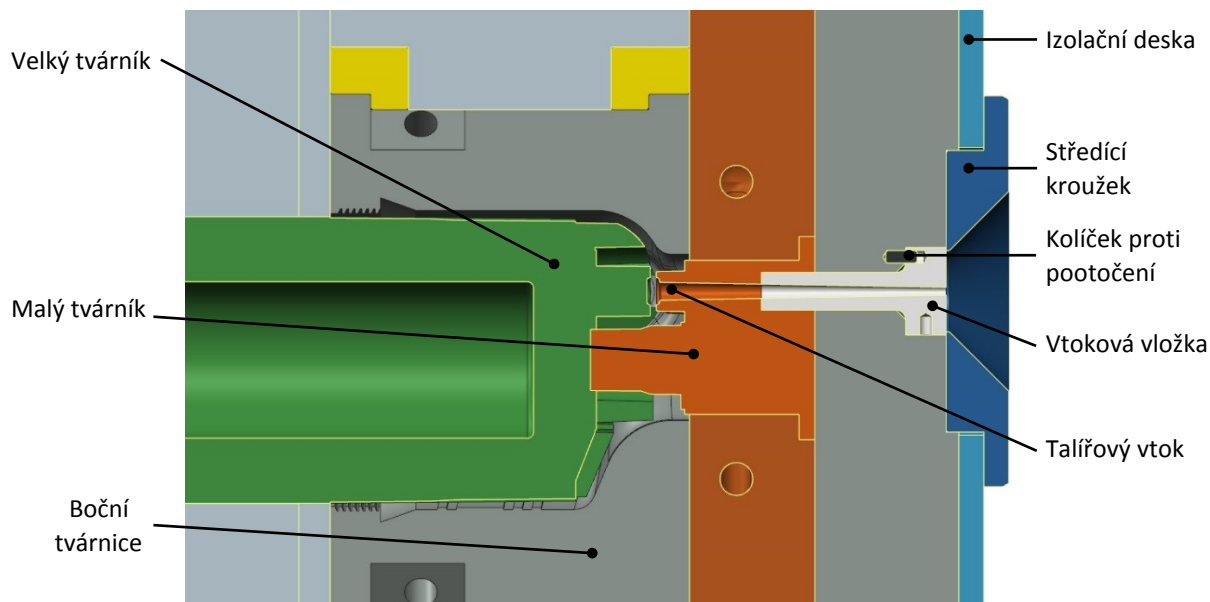
Obr.34 Prostorový model vtokové vložky



Obr. 35 Obecné rozměry talířového vtoku [9]

Podle určených rozměrů byla zvolena vtoková vložka od firmy Meusburger se vstupním vnitřním průměrem 2,5 mm, úhlem kuželové díry 1° a o celkové délce 46 mm (obr. 34). Poloha vložky bude zajištěna proti pootočení jednoduchým kolíčkem.

Zvenku bude na trysku dosedat, ještě jako součást formy středící kroužek, který zajistí přesnou polohu formy na vstřikovacím stroji, tak, aby byla osa vtokové vložky totožná s osou trysky vstřikovacího stroje. Rozměr středícího kroužku musí korespondovat se středícím otvorem vstřikovacího stroje, jehož průměr je 125 mm. Celkový návrh řešení vtokového systému je na obrázku 36.



Obr. 36 Řez sestavou formy v místě vtokové soustavy

Po studeném talířovém vtoku zůstane v otvoru vtokový zbytek, který bude třeba odstranit po vyhození z formy. K tomu může sloužit například jednoduchý přípravek ve tvaru trubky s ostrým lemem o průměru otvoru, kterým operátor na ručním lisu nebo automatická linka zbytek odstříhne.

5.4.2 Temperační systém [18], [24]

V průběhu vstřikovacího procesu je snaha udržet konstantní teplotu formy a to ve všech místech tvarové dutiny. Forma funguje jako výměník tepla, kdy je třeba uvažovat jeho odvod vedením do upínacích desek, prouděním do okolního vzduchu nebo sáláním. Úkolem temperačního systému je odnímat tavenině plastu teplo, které vzniklo v průběhu plastikace ve stroji a to pomocí chladicího média. Tento způsob odvodu tepla je v konečné bilanci nejvýznamnější.

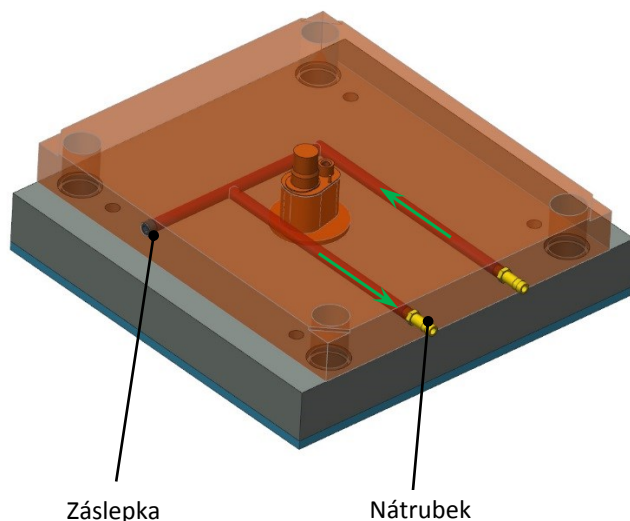
Materiálový list zvoleného plastu Zytel 70G25SHL udává ve zpracovatelských parametrech rozsah teploty formy $70 \div 120^{\circ}\text{C}$. Z tohoto rozpětí byla zvolena teplota 100°C , která již byla použita při výpočtu doby vstřikovacího cyklu.

Již při koncipování formy byl temperační systém brán v úvahu, aby nedošlo k situaci, že nebude prostor pro kanály kvůli ostatním systémům. Forma pro kryt má 4 temperační okruhy, které zajistí její potřebnou teplotu a rovnoměrnost chlazení. Obě boční tvárnice mají každá samostatnou síť kanálů, jejichž vstup i výstup je vždy na jedné straně formy. Vzhledem k malým rozměrům tvárníku na pevné straně formy je chlazení vyřešeno jednoduchým okruhem okolo tvarové vložky. Vnitřní strana vznikajícího dílce, která je tvořena pouze velkým tvárníkem, bude chlazená spirálovým jádrem, které zajistí intenzivní odvod tepla.

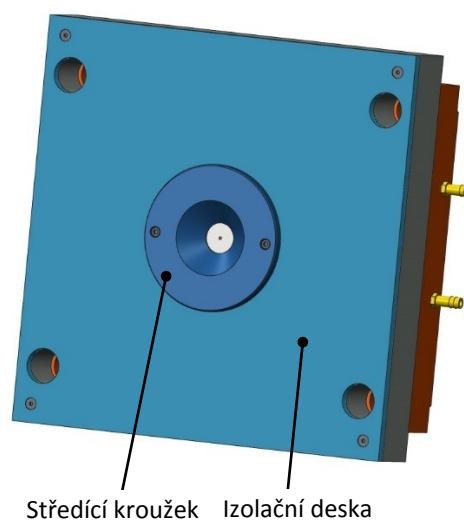
Na obou stranách je mezi formu a upínací desku stroje umístěna izolační deska. Její účel je zabránit prostupu tepla právě do upínací části stroje, především u forem, které jsou temperovány na vyšší teploty, je to vhodné. U studených vtokových soustav, na rozdíl od vyhřívaných, není použití izolace nezbytné, ale bývá doporučováno.

- **Temperace malého tvárníku**

Temperační okruh zajišťující chlazení malého tvárníku je na obr. 37, izolační deska připevněná na pevné upínací desce formy, je potom na obr. 38. Průměr otvorů pro temperaci byl zvolen 10 mm. Z horní strany formy je vrtaný kanál, který slouží k propojení zbývajících dvou a jeho vývod bude zaslepený. Na straně kde ústí vstup i výstup chladicího média jsou otvory opatřeny nátrubky pro snadné připojení hadic.



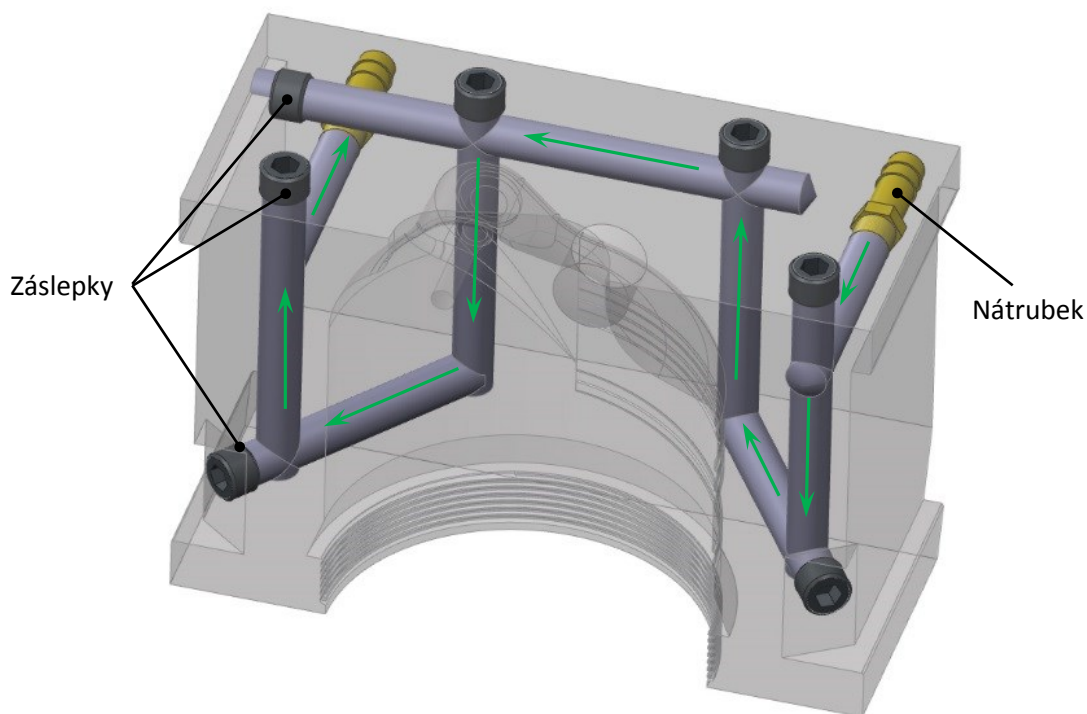
Obr. 37 Temperační okruh malého tvárníku



Obr. 38 Pohled na izolační desku

- **Temperace bočních tvárnic**

Vzhledem ke geometrii tvárnice, jejíž tvarová část tvoří přibližně válcovou plochu, byly navrženy 4 kanály o průměru 10 mm, které jsou rozmístěny po jejím obvodu. Ostatní kanály slouží k jejich propojení, aby byla umožněna cirkulace média. Síť kanálů je vidět na pravé polovině tvárnice na obr. 39. Druhá tvárnice je zrcadlově obrácená a způsob řešení je totožný.



Obr. 39 Temperační okruh pravé strany tvárnice

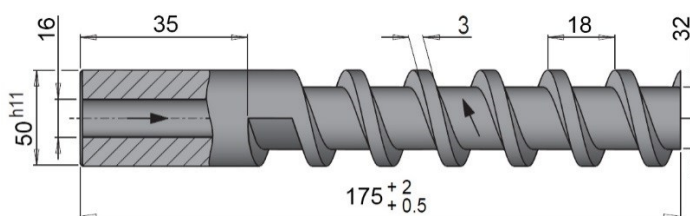
- **Temperace velkého tvárníku**

Pro temperování vysokých tvárníků je možné využít větší množství otvorů po obvodu v definované vzdálenosti od stěny, vsunout do nich přepážky a na spodní straně tvárníku je propojit kruhovým kanálem. Tento způsob však nezaručí takovou rovnoměrnost odvodu tepla jako použití spirálového jádra.

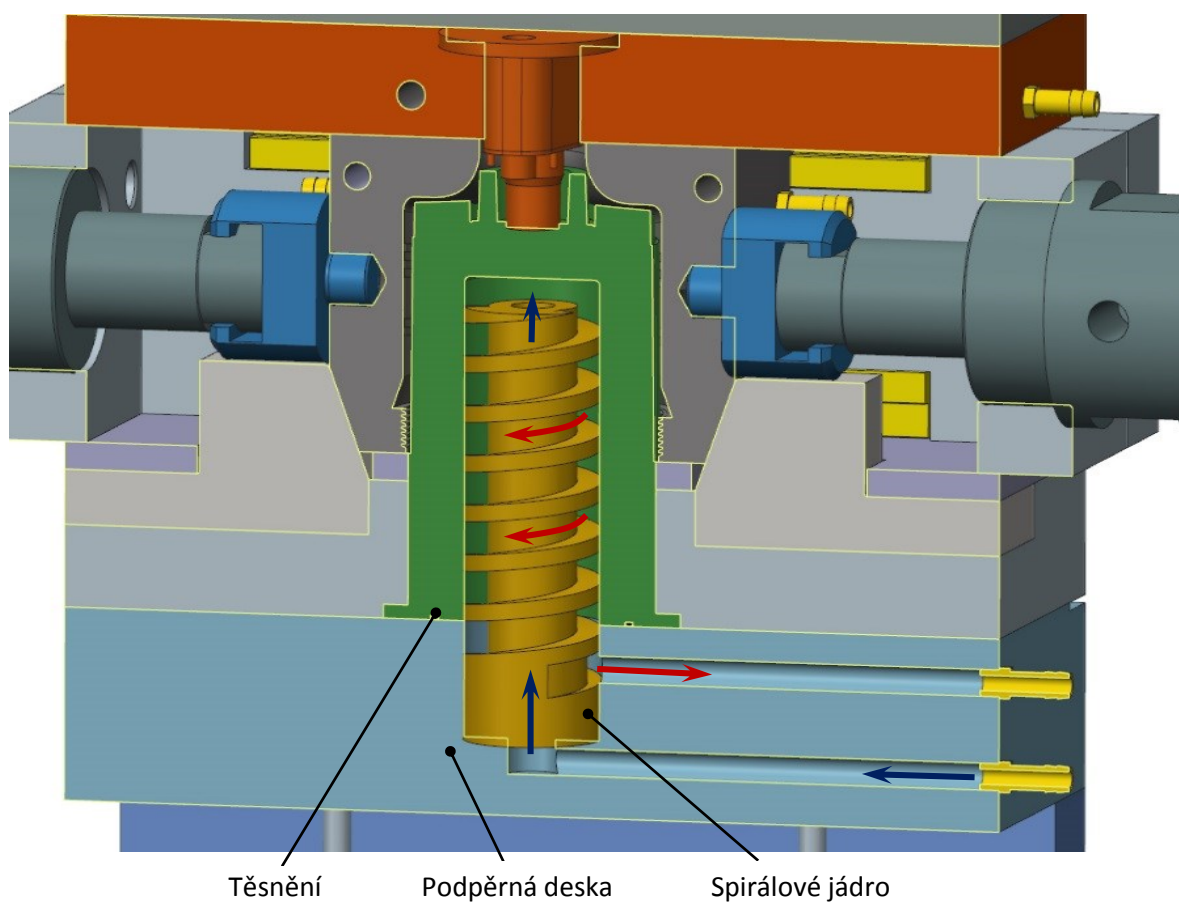
Chladicí médium proudí od vstupu příváděcím kanálem až pod jádro, které je po celé délce provrtané a kapalina tak může vystoupat až na jeho vrchol. Zpět se dostává po spirále až k výstupnímu kanálu. Princip je zřejmý z obrázku 41, kde je směr přívodu kapaliny označen modrými šipkami a odvod červenými.

Z hlediska výroby je toto řešení také snadné, stačí pouze zhotovit v tvárníku dutinu pro vložení jádra a vyvrtat příváděcí kanály v podpěrné desce.

Vybráno bylo spirálové jádro z polyamidu od firmy Meusburger o vnějším průměru 50 mm a délce 175 mm (obr. 40), která bude pro naše účely zkrácena na 135 mm. Jádro bude vzdáleno od stěny tvarové dutiny přibližně 20 mm, což by podle doporučených hodnot uvedených v tabulce 2 (kapitola 4.2.1) mělo být dostačující. Aby nedocházelo k úniku kapaliny na rozhraní tvárníku a podpěrné desky, je zde umístěno pryžové těsnění po celém obvodu.



Obr. 40 Spirálové jádro pro chlazení tvárníku [18]

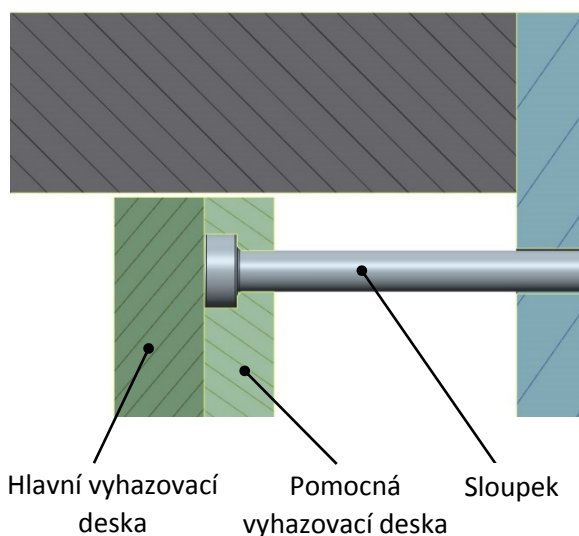


Obr. 41 Systém temperování velkého tvárníku

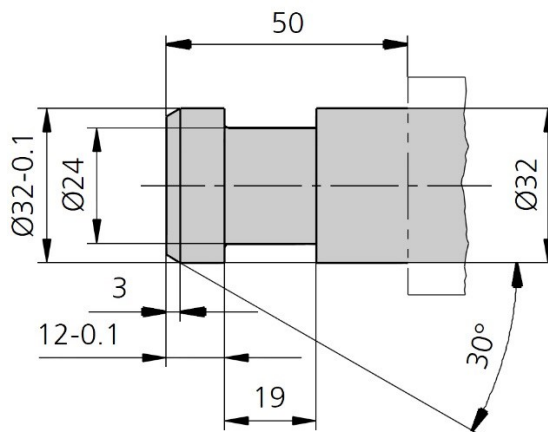
5.4.3 Vyhazovací systém [1], [24]

Poté, co je forma otevřena, přichází na řadu odformování součásti, které má na starost vyhazovací systém. Ten je řešený pomocí stírací desky umístěné na pohyblivé straně formy a je v kontaktu se spodní stranou výstřiku. Při vyhazování tedy působí rovnoměrně po celém obvodu a nemůže tak dojít k žádným deformacím, které by mohly nastat v případě použití běžných kruhových vyhazovačů.

Vyhazovací síla potřebná k překonání adhezních sil se v praxi většinou nepočítá, jelikož do výpočtu vstupuje mnoho faktorů a výsledná hodnota je pouze orientační. Povrch tvarových částí se během používání formy opotřebí, zvláště při vstřikování plastů plněných skelnými vlákny, a tím dojde i ke změně vyhazovací síly. Pokud by došlo k tomu, že navržený systém nebude dostatečný, je možné dodělat několik vyhazovačů do prostor tvárníku mezi vnitřní stěnu, kde cirkuluje temperační médium a vnější tvarovou stěnu. Vzhledem k dostatečné velikosti plochy, na které působí stírací deska a vyhazovací síle 50 kN, kterou disponuje stroj, je to ovšem nepravděpodobné.



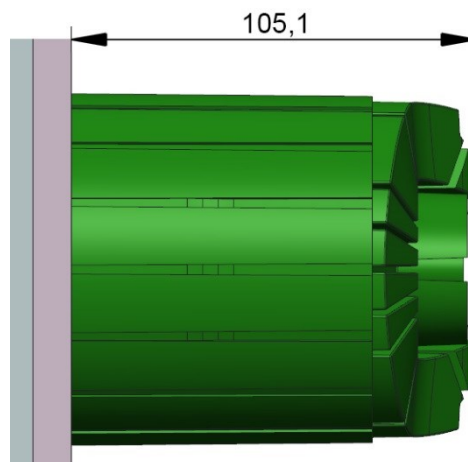
Obr. 42 Způsob upevnění sloupku mezi vyhazovací desky



Obr. 43 Rozměry zakončení vyhazovací tyče podle specifikace stroje [1]

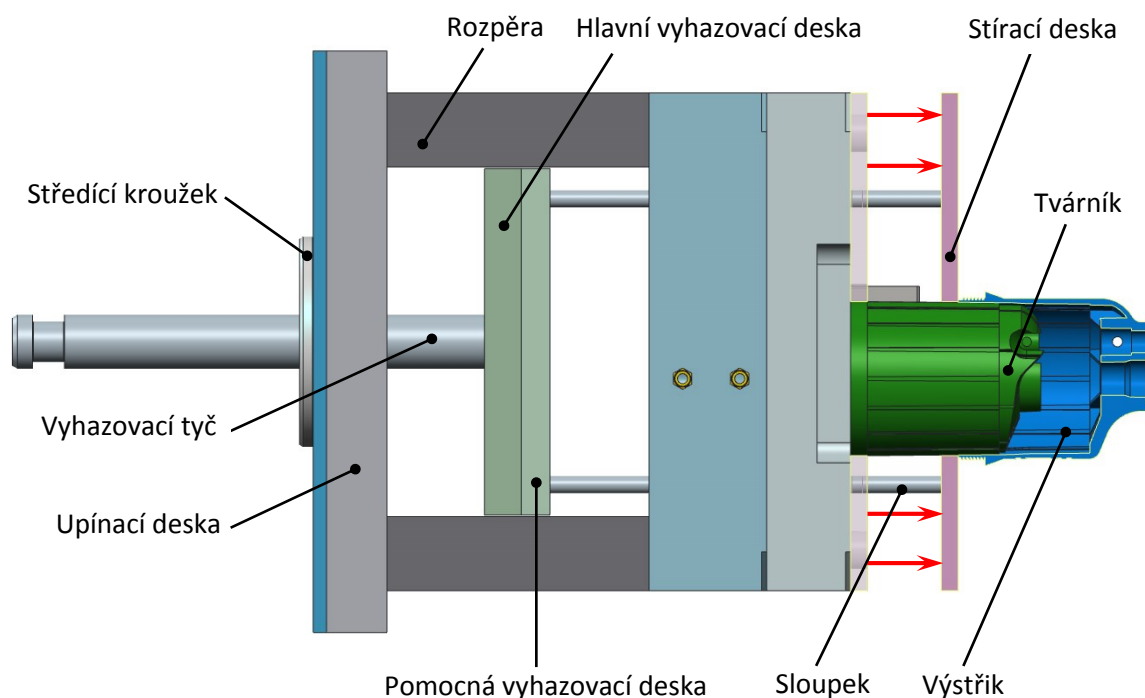
Stírací deska je pomocí sloupků spojená s hlavní a pomocnou vyhazovací deskou. Mezi sešroubovanými deskami jsou sloupky upevněny, jak je naznačeno na obr. 42. Vyhazovací síla ze stroje je přenášena na vyhazovací systém formy pomocí tyče, jejíž jeden konec je zašroubován v hlavní vyhazovací desce a druhý je upevněn ve stroji. Část tyče vstupující do stroje má definované zakončení, které udává specifikace uzavírací jednotky (obr. 43).

Pro odformování, musí stírací deska urazit dostatečnou dráhu, aby došlo ke spadení výstřiku mimo oblast formy. Vzdálenost je určena podle výšky tvárníku, která je 105,1 mm (obr. 44). Během seřizování formy na stroji se pravděpodobně zjistí, že dílec odpadne již dříve a pro automatický cyklus se nastaví dráha kratší, čímž se v důsledku zkrátí výrobní čas.



Obr. 44 Výška tvárníku měřená od stírací desky

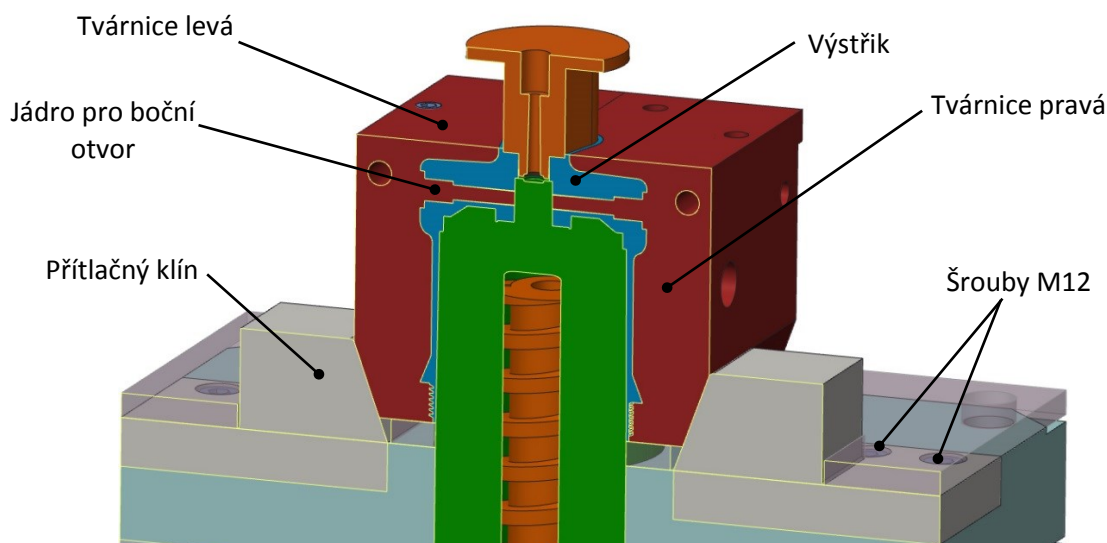
Na základě dráhy vyhazovacího systému se také určuje výška rozpěr formy, ale především je důležité znát tuto hodnotu při výběru stroje, kdy se k ní musí připočítat výška vstřikovaného dílce, čímž je definováno minimální potřebné otevření formy. Na obr. 45 jsou popsány jednotlivé části vyhazovacího systému a šipkami je naznačen pohyb stírací desky.



Obr. 45 Vyhazovací systém formy řešený pomocí stírací desky

5.4.4 Princip uzavírání bočních tvárnic

Pro otevření formy musí nejprve odjet do stran boční tvárnice a před uzavřením opět přijet na kontakt k sobě. Z důvodu, že tvárnice jsou vyrobeny jako jeden celek i s jádrem pro boční otvor, je nutné, aby se pohybovaly pouze ve směru osy tohoto otvoru. Při uzavírání formy se tvárnice přiblíží k sobě a následně je k sobě přitlačí klíny upevněné na desce s tvárníkem. Tímto způsobem bude zabráněno jejich rozevření. Upevnění klínu je řešeno pomocí šesti šroubů M12, které prochází skrze přírubu do desky tvárníku. Na obr. 46 je princip přidržení tvárnic naznačen.



Obr. 46 Princip přidržení bočních tvárnic pomocí klínů

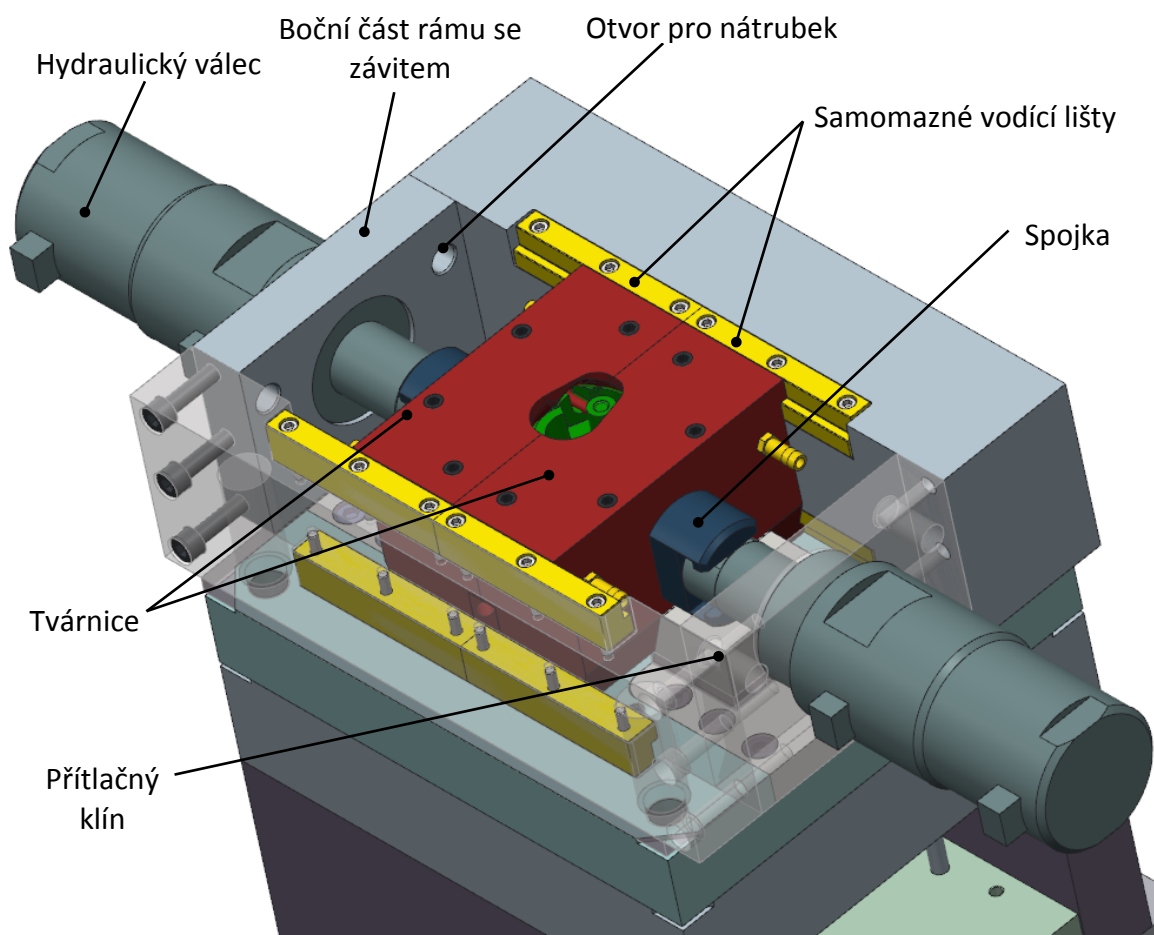
Přímočarý pohyb tvárnic bude ovládán z každé strany jedním hydraulickým válcem. Využití šikmých kolíků je znemožněno právě kvůli jádrům pro boční otvory, která by při otevírání formy stahovala ulpělý výstřik z velkého tvárniku. Jádra by tak překonávala sílu potřebnou pro vyhození, čímž by mohlo dojít k deformaci vnitřních stěn otvorů.

Na síle držící boční tvárnice u sebe se bude podílet přidržovací síla stroje, která se přenesse na stěny tvárnic právě pomocí klínů, a síla, kterou vyvodí hydraulické válce. Od firmy Hasco byly za tímto účelem vybrány uzamykatelné válce s označením Z2301/42x50, mající pracovní zdvih 50 mm, který zajistí, že tvárnice odjedou do dostatečné vzdálenosti, aby mohla být forma bezpečně otevřena. Válce dokáží vyvodit sílu až 280 kN při uzamčení v krajní poloze, čímž bude zajištěna robustnost řešení a zabrání se tak pootevření v jakémkoli místě.



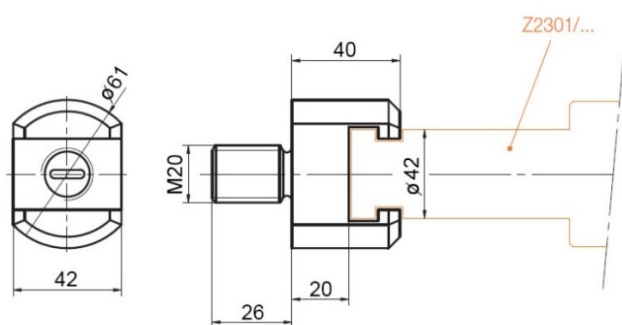
Obr. 47 Hydraulický válec Hasco Z2301 [10]

K rámu formy bude hydraulický válec (obr. 47) upevněn pomocí velkého vnějšího závitu a přes spojku vyráběnou přímo pro dané zakončení pístu bude spojen s tvárnicí. Celkový návrh řešení je vidět na obrázku 48, kde jsou také popsány jednotlivé komponenty, které se na systému podílejí.

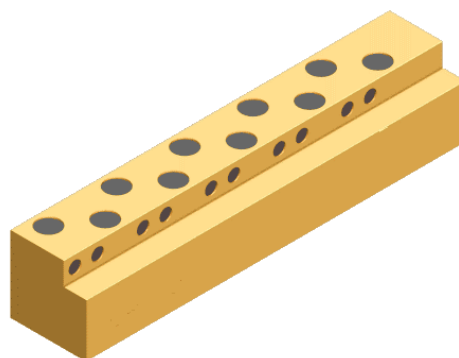


Obr. 48 Pohled na uzavřenou formu se systém pohybu bočních tvárnic

V rámu formy, bylo vytvořeno vedení z bezúdržbových vodících lišt (obr. 50), které zajistí plynulý pohyb tvárnic a také jejich přesné dosednutí na sebe. Na obr. 49 je způsob spojení válce přes spojku a závit, kterým je spojka zašroubována do těla tvárnice.



Obr. 49 Rozměry spojky mezi válcem a tvárnici [10]

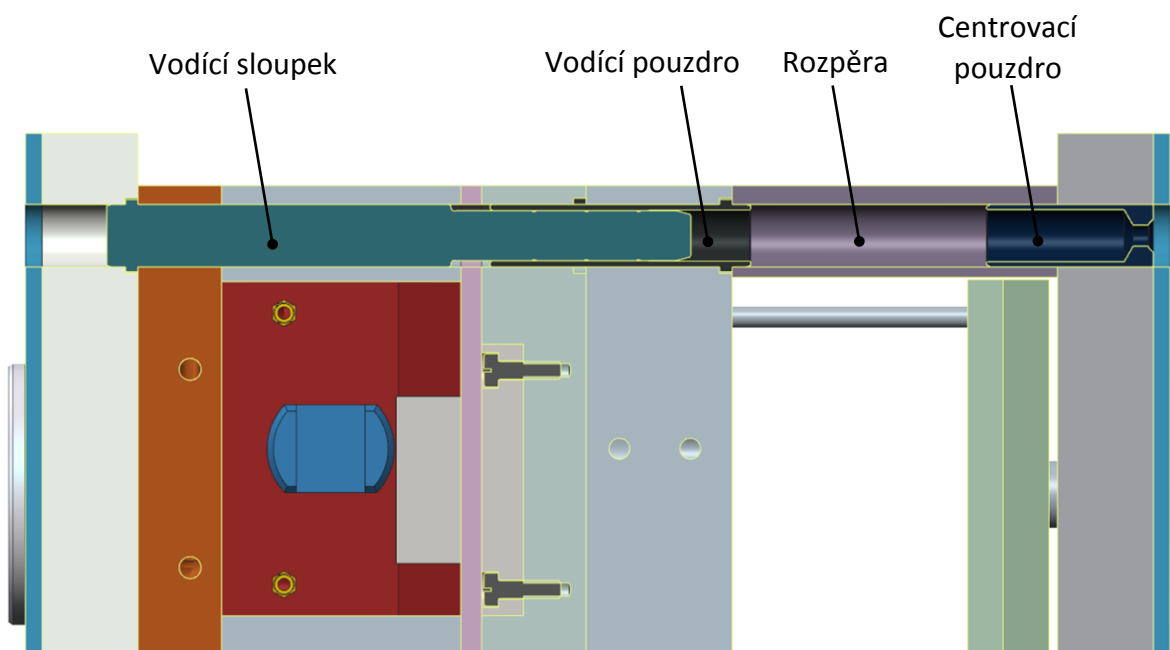


Obr. 50 Ukázka samomazné vodící lišty

5.4.5 Zajištění přesné polohy při uzavírání [3], [18]

Aby všechny části tvarové dutiny dosedly během uzavírání formy na správné místo, musí se zaručit přesný pohyb obou polovin formy. Toho je docíleno použitím vodících sloupků a pouzder (obr. 51). V rozích desek pevné části formy jsou vyrobeny otvory, do nichž jsou uloženy sloupky, které při zavírání formy vstupují do vodících pouzder. Oba prvky jsou vyrobeny s velkou přesností a zajistí, aby nedošlo k odchýlení při uzavírání. Vedení je možné řešit i vyvrtáním přesných otvorů, ale je zde riziko, že se stěny opotřebí a posuvná vazba nebude správně plnit svoji funkci.

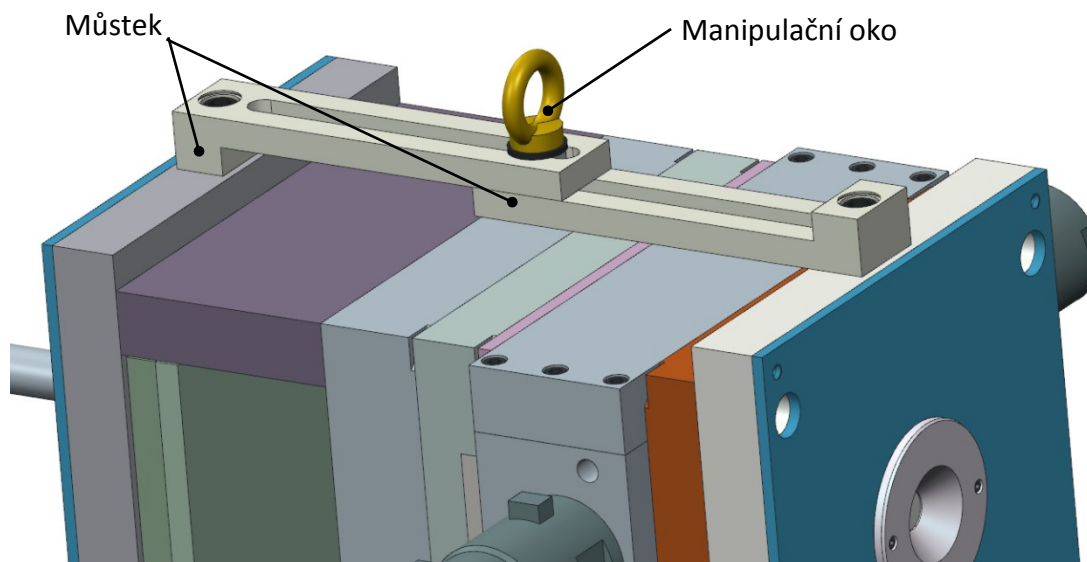
V případě snahy formu zavřít ve špatné poloze obou polovin vůči sobě, například by došlo k otočení jedné o 180°, se používá jeden sloupek s pouzdem o jiném průměru, tím pádem nelze formu zavřít v jiné než správné poloze. Vzájemné zajištění pozice upínací desky a rozpěr je vyřešeno centrovacími pouzdry s nákrůžkem, který je nalisován pro pevné držení.



Obr. 51 Způsob zajištění polohy pevné a pohyblivé strany formy

5.4.6 Manipulační prvek

Celá forma má poměrně velkou hmotnost a rozměry, a je třeba při upínání na stroj použít jeřáb. K uchycení na jeřáb je na horní straně formy transportní můstek s okem (obr. 52). Ten zároveň zabraňuje otevření formy během manipulace. Můstek byl zvolen místo obyčejného závěsného oka přímo v některé z desek, jelikož umožňuje polohování a umístění oka do těžiště, čímž je manipulace usnadněna.



Obr.52 Transportní můstek pro snadnou manipulaci s formou

Hmotnost formy byla stanovena podle 3D modelu přibližně na 350 kg a podle této hodnoty byl zvolen transportní můstek od firmy Hasco, který má nosnost až 700 kg.

5.4.7 Materiály pro výrobu formy [18], [22], [23], [24]

Volbu materiálu pro jednotlivé součásti formy je potřeba uzpůsobit podle toho, jak budou namáhány a jaký je požadavek na odolnost proti opotřebení. Neméně významným parametrem při výběru bude obrobiteľnosť a ďalej pak tepelná vodivosť, ktorá je však obecně u materiálů s vysokou pevností nižší.

- **Ocel pro tvarové části**

Vstříkovaným plastem bude polyamid plněný skelnými vlákny, z čehož vyplývá, že stěny tvarové dutiny budou vystaveny výraznému abrazivnímu namáhání. Pokud by na tuto skutečnost nebyl brán zřetel, došlo by k rychlému opotřebení formy, tím pádem ztrátě rozměrů a výrobě nefunkčních součástí. Materiál musí mít také vysokou pevnost a odolnost proti únavovému zatěžování, jelikož bude v průběhu výroby celé série opakovaně vystaven vysokému vstříkovacímu tlaku. K těmto faktům se přihlíželo v průběhu výběru vhodné oceli. Pro výrobu bočních tvárnic a obou tvárníků byla zvolena nástrojová ocel 1.2343, která bývá doporučována pro namáhané tvarové součásti forem.

Jedná se o legovanou ocel s dobrými pevnostními vlastnostmi a odolností proti opotřebení, její chemické složení je v tabulce 6. Ocel je dodávána ve stavu žíhaném na měkko a je dobře obrobiteľná. Pro dosažení vysoké tvrdosti po obrobení se provádí kalení a popouštění na tvrdost 52 HRC. Tento materiál se vyznačuje dobrou kalitelností na vzduchu a vysokou prokalitelností. Po tepelném zpracování, nedochází k výrazným rozměrovým změnám. Tepelná vodivosť je v rámci nástrojových ocelí vysoká a přispěje tak ke zlepšení chlazení formy.

Tab 6. Chemické složení oceli 1.2343 [23]

C	Si	Mn	P max	S max	Cr	Mo	V
0,36-0,42	0,90-1,20	0,30-0,50	0,030	0,030	4,80-5,50	1,10-1,40	0,25-0,50

- **Ocel pro upínací a kotevní desky**

Desky sloužící k upnutí formy na stroj, pro uložení tvarových vložek nebo části podílející se na vyhození dílce nebudou namáhány tak výrazně jako ty, které tvoří tvarovou dutinu. Není tedy třeba volit materiál s vysokou dosažitelnou tvrdostí nebo extrémní pevností. Zůstává však požadavek na celkovou tuhost formy a dobrou vyrobiteľnosť, takže se musí jednat o materiál, který lze dobře obrábět. Vybrána byla uhlíková nástrojová ocel 1.1730.

Tento materiál se vyznačuje houževnatostí, dobrou pevností a také tvrdostí po zakalení. Zároveň je velmi dobře obrobiteľný v žíhaném stavu. Desky z vybrané oceli budou nakupovány přímo podle katalogu normálií od firmy Meusburger.

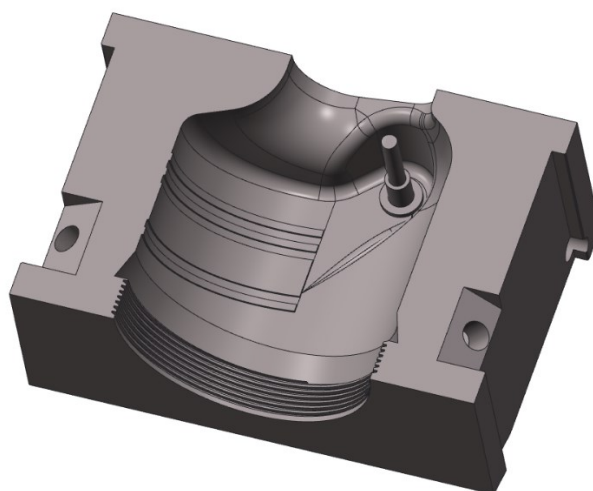
5.4.8 Vyrobiteľnosť formy

Konstrukce formy zahrnuje nejen navržení řešení, ale také úvahu nad možnostmi výroby jednotlivých prvků, z kterých nástroj vznikne. V kapitole o výběru materiálu pro jednotlivé části je brán ohled také na obrobiteľnosť a to především u tvarových vložek, jelikož zde bude proces obrábění nejnáročnější. U desek nakupovaných s již předvrtanými dírami pro šrouby, vodící pouzdra a různé kolíčky bude třeba provést jen drobnější úpravy.

- **Tvárnice**

Z hlediska vyrobiteľnosti se jedná o nejsložitější součást formy (geometrie tvárnice je na obr. 53), kde bude třeba využít i nekonvenční technologie obrábění. Polotovarem bude hranol vyžíhaný na měkko, který se vyhrubuje běžnými frézovacími nástroji s přídkem okolo 0,5 mm. Vyvrtají se otvory pro temperační systém a vyřežou závity pro nátrubky a připojení spojky s hydraulickým válcem.

Poté bude následovat tepelné zpracování, které je nutné zařadit před dokončovací operace z důvodu zachování rozměrů. Celá dutina bude následně v rámci možností vyfrézovaná pomocí dokončovacích strategií a pro dosažení konečných rozměrů se použije elektroerozivní obrábění. Jelikož má tvárnice složitou geometrii, která obsahuje úzké drážky a ostré hrany, a je požadován jemný dezén na vnějším povrchu plastového dílce, musí být vytvořena sada elektrod pro celou tvarovou část. Na závěr se budou brousit plochy pro vedení a dosedací plocha pro klín, jelikož je zde kladen vysoký nárok na přesnost kvůli preciznímu uzavírání formy.



Obr. 53 Geometrie boční tvárnice

- **Velký tvárník**

Posloupnost výrobních operací bude podobná jako u tvárnic s rozdílem, že hrubování válcových ploch je možné provést na soustruhu. Vrchní část tvárníku lze dokončit z větší části frézováním a pro drážky tvořící na dílci žebra a ostré hrany budou vyrobeny elektrody potřebné k elektroerozivnímu hloubení. Celý povrch tvárníku bude třeba leštit do technického lesku, aby bylo zajištěno snadné stažení výstřiku pomocí stírací desky.

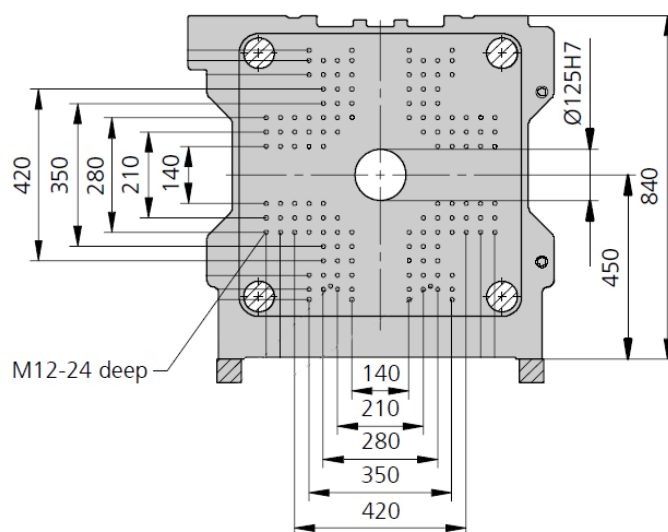
- **Ostatní komponenty**

Sada desek pro sestavení formy se bude z větší části nakupovat s již předvrtanými dírami a bude nutné jen vyřezat tvarové otvory pro uložení tvárníků, středících kroužků nebo vtokové vložky. Rám sloužící k uchycení hydraulických válců a vedení tvárnic bude nutné kompletně obrobít a smontovat, jelikož se jedná o specifické řešení. Klíny přidržující během uzavření formy tvárnice u sebe, budou z důvodu vysokého namáhání vyrobeny z materiálu 1.2343 a dosedací plocha bude broušena.

Další komponenty a příslušenství k formě bude nakupováno od výrobců normálií Hasco a Meusburger, kteří se v tomto oboru specializují a nabízí široký sortiment součástí.

5.4.9 Upnutí formy na stroj a odladění formy [3], [34]

Způsob upevnění formy na stroj je závislý na možnostech uzavírací jednotky. Existuje upínání mechanické, hydraulické nebo magnetické. Stroj Allrounder 520 S je vybaven upínacími deskami s otvory pro šrouby. V dokumentaci ke stroji jsou uvedeny rozteče otvorů (obr. 54) spolu s rozměrem středícího otvoru. Je třeba zvolit vhodnou variantu a do upínacích desek formy vyrobít díry se závitem, který bude v našem případě M12. Hloubka závitu se doporučuje minimálně stejná jako je průměr (v případě M12 minimální délka závitu 12 mm). Rozteče pro upnutí byly zvoleny 210 mm a forma tedy bude montována na stroj tímto způsobem.



Obr. 54 Upínací deska pevné části stroje [1]

V případě, že by bylo nutné použít jiný vstřikovací stroj, který by nebyl kompatibilní s formou, tedy na upínací desce stroje by nebyly otvory s danou roztečí, jsou upínací desky formy osazeny a je možná montáž pomocí upínek. Tento způsob je naprosto univerzální a jeho princip je na obr. 55.

- **Postup instalace formy**

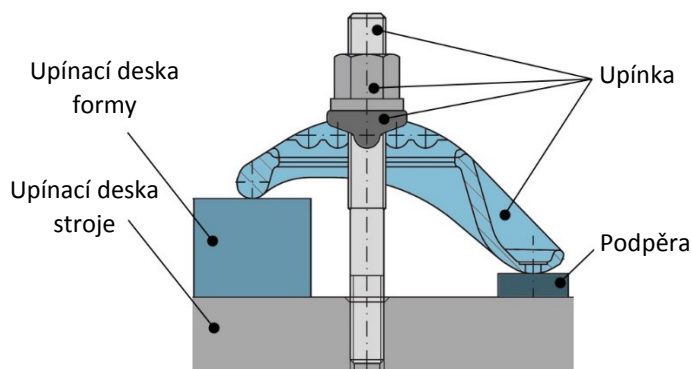
Jestliže jsou zkontrolovány veškeré parametry nutné pro nasazení formy, jako světlost mezi sloupky nebo světlost mezi deskami a je jistota, že forma půjde bezpečně upnout, je možné přejít k instalaci.

Pro manipulaci s formou slouží manipulační oko, pomocí kterého se zavřená a zajištěná forma vyzdvihne jeřábem a umístí mezi desky uzavírací jednotky. Pevná strana s vtokovou vložkou se nejprve navlékne přes středící kroužek do otvoru v desce stroje, aby bylo zajištěno přesné dosednutí čela vstřikovací jednotky, a poté se vycentruje podle os stroje. Následně se připevní k desce stroje přes šrouby či upínky. Stroj je v seřizovacím režimu a je možné přijet pohyblivou deskou stroje k pohyblivé desce formy a provést montáž podobně jako na pevné straně. Jakmile je forma pevně přišroubována, odjistí se a provede se několik zkušebních pohybů, aby byla jistota, že někde nedochází ke zvýšenému tření. Při vyvinutí přidržovací síly se ještě zkontroluje dotažení šroubů.

Než se zahájí vstřikování prvních vzorků, připojí se ještě vyhazovací systém, hadice temperačního systému a provede se důkladná vizuální kontrola všech částí formy, aby se odhalily případné poruchy vzniklé v důsledku manipulace. Po dokončení všech přípravných operací se zahájí zkušební provoz, kdy je vyrobena sada prvních vzorků. Technologické parametry vstřikování se nastaví dle výpočtů, materiálových specifikací a zkušeností seřizovačů. První vzorky jsou podrobně analyzovány z vizuálního hlediska, ale především rozměrového.

Jestliže například nedošlo k úplnému zatečení taveniny do všech míst tvarové dutiny, musí se parametry vstřikování upravit tak, aby se tento nedostatek odstranil. Může se tedy upravovat hodnota dotlaku, teplota taveniny, teplota formy atd. Dále se stává, že plast je vlivem špatného odvzdušnění formy spalován v tvarové dutině, tzv. diesel efekt a vznikne poškozený výrobek. V tomto případě je třeba přidat odvzdušňovací kanálek, aby mohl vzduch formu opustit a nenastával tak zmiňovaný jev.

Je také nezbytné odladit správné odformování, aby nedocházelo k poškození výstřiku. Náš případ vyhození dílce je řešen stírací deskou a povrch tvárníků, na kterém dílec ulpí, bude leštěný, nepředpokládá se tedy, že by v tomto směru mělo dojít ke komplikacím.



Obr. 55 Způsob upnutí formy na stroj pomocí upínek [3]

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [10], [13], [15], [18], [21]

Na základě stanovené výrobní série, zvoleného materiálu dílce, konstrukce formy a dalších vstupních parametrů budou vypočteny postupně náklady na jednotlivé fáze výrobního procesu a z nich se stanoví výsledná cena jednoho kusu. Provede se také zhodnocení minimálního množství produkce, kterého je třeba dosáhnout, aby byla výroba zisková.

Objem výrobní série, který je 100 000 kusů se bude vyrábět na navržené jednonásobné formě. Použitý materiál je PA 66 Zytel 70G25HSL od firmy DuPont a byl doporučen vstřikovací stroj Allroundrer 520 S.

• Náklady na materiál

- 1) Náklady na materiál jednoho dílce N_{mat} [Kč].

$$N_{mat} = (G + V_{vtok} \cdot \rho) \cdot C_m = (0,18 + 1,53 \cdot 10^{-6} \cdot 1330) \cdot 82,2 = 14,9 \text{ Kč} \quad (7.1)$$

G ...hmotnost dílce [kg]

V_{vtok} ...objem vtokové soustavy [m^3]

ρ ...hustota materiálu [kg/m^3]

C_m ...cena materiálu za 1kg [Kč]

- 2) Náklady na materiál celé výrobní série N_s [Kč].

$$N_s = N \cdot N_{mat} = 100\,000 \cdot 14,9 = 1\,490\,000 \text{ Kč} \quad (7.2)$$

N ...velikost výrobní série [ks]

• Náklady na stroj

Při výpočtech celkových nákladů na stroj se počítají odpisové náklady z celkové ceny stroje jako poměrná část za dobu, po kterou bude vyráběna celá série. Nebylo by tedy dobře kalkulovat rovnou s nákupní cenou stroje.

- 1) Doba výroby celé série t_s [hod].

$$t_s = \frac{N \cdot t_c \cdot K_z}{3600 \cdot n \cdot K} = \frac{100\,000 \cdot 39 \cdot 1,03}{3600 \cdot 1 \cdot 0,85} = 1313 \text{ hodin} \quad (7.3)$$

t_c ...doba vstřikovacího cyklu [s] (viz rovnice 5.2)

n ...násobnost formy [-]

K ...faktor využití pracovního času [-]

K_z ...faktor zmetkovitosti [-]

- 2) Odpisové náklady stroje N_o [Kč].

$$N_o = \frac{C_s}{R_s \cdot H_R} \cdot t_s = \frac{2\,380\,000}{7 \cdot 5760} \cdot 1313 = 77\,503 \text{ Kč} \quad (7.4)$$

C_s ...cena stroje [Kč]

R_s ...odpisová doba stroje [rok]

H_s ...počet pracovních hodin za rok [hod]

- 3) Náklady na provoz stroje N_{ps} [Kč].

$$N_{ps} = \frac{P_s \cdot C_E}{K_s} = \frac{30,9 \cdot 4,85}{0,85} = 177 \text{ Kč} \quad (7.5)$$

P_s ...příkon stroje [kW]

C_E ...cena elektrické energie [Kč/kWh] (určeno kalkulací u společnosti E-on pro roční spotřebu elektrické energie 100MW)

K_s ...koeficient opotřebení stroje [Kč]

4) Náklady na provoz stroje po dobu výroby série N_{PC} [Kč].

$$N_{PC} = N_{PS} \cdot t_S = 177 \cdot 1313 = 232\,401 \text{ Kč} \quad (7.6)$$

5) Celkové náklady na stroj N_{CS} [Kč].

$$N_{CS} = N_O + N_{PC} = 77\,503 + 232\,401 = 309\,904 \text{ Kč} \quad (7.7)$$

- **Náklady na mzdu obsluhy**

Je uvažováno, že stroj bude obsluhovat v průběhu směny vždy pouze jeden operátor.

1) Náklady na mzdu operátora N_D [Kč].

$$N_D = t_S \cdot M_D = 1313 \cdot 150 = 196\,950 \text{ Kč} \quad (7.8)$$

- **Náklady na výrobu formy**

Do výroby formy je třeba započítat náklady na materiál (tab. 7), výrobu jednotlivých částí, následné tepelné zpracování. Poté je třeba započítat dokončovací operace, montáž a také návrh konstrukčního řešení.

Tab. 7 Náklady na materiál pro výrobu formy [10], [18]

Název položky	Počet kusů	Materiál	Cena za kus [€]	Cena celkem [€]
Upínací deska pevné části	1	1.1730	209,0	209,0
Upínací deska pohyblivé části	1	1.1730	209,0	209,0
Hlavní vyhazovací deska	1	1.1730	110,0	110,0
Pomocná vyhazovací deska	1	1.1730	93,0	93,0
Podpěrná deska	1	1.1730	268,0	268,0
Deska pro velký tvárník	1	1.1730	134,0	134,0
Deska pro malý tvárník	1	1.1730	119,0	119,0
Rozpěry	2	1.1730	93,0	186,0
Desky na rám pro vedení tvárnic		1.1730		184,0
Stírací deska	1	1.1730	110,0	110,0
Vyhazovací tyč	1	1.1730	15,0	15,0
Přítlačný klín	2	1.2343	76,0	152,0
Izolační deska	2		124,0	248,0
Boční tvárnice	2	1.2343	90,0	180,0
Velký tvárník	1	1.2343	115,0	115,0
Malý tvárník	1	1.2343	54,0	54,0
Vodící lišty	8		75,0	600,0
Hydraulické válce	2		3157,0	6314,0
Středící kroužek na pevnou stranu	1		31,0	31,0
Středící kroužek na pohyblivou stranu	1		38,3	38,3
Vtoková tryska	1		31,6	31,6
Spojka	1		55,0	55,0
Spojovací materiál a ostatní komponenty			150	150,0
Suma				9 605,9

1) Náklady na materiál N_M [Kč].

$$N_M = 9\,605,9 \cdot M_K = 9\,605,9 \cdot 27,39 = 263\,106 \text{ Kč} \quad (7.9)$$

M_K ...měnový kurz CZK/EUR [Kč] (ke dni 22. 5. 2015)

2) Náklady na obrábění formy (tab. 8), konstrukci a montáž N_{OB} [Kč].

Tab. 8 Rozpis cen obrábění pro jednotlivé díly.

Název položky	Cena [Kč]
Tvárnice levá	85 000
Tvárnice pravá	85 000
Tvárník malý	12 500
Tvárník velký	72 000
Obrábění desek	9 800
Tepelné zpracování	850
Suma	265 150

$$N_{OB} = \text{obrábění} + \text{konstrukce} + \text{montáž} =$$

$$= 265\,150 + 40\,000 + 15\,200 = 320\,350 \text{ Kč} \quad (7.10)$$

3) Celkové náklady na výrobu formy N_F [Kč].

$$N_F = N_M + N_{OB} = 263\,106 + 320\,350 = 583\,456 \text{ Kč} \quad (7.11)$$

Ceny jednotlivých komponent potřebných pro výrobu formy uvedených v tab. 7 byly určeny podle katalogů firem Meusburger a Hasco, kteří patří mezi přední výrobce normálií. Náklady na obrábění jsou spíše orientační a pro přesné určení by bylo třeba nechat vypracovat kompletní cenovou nabídku na výrobu formy.

• Náklady na režie

Do celkových nákladů bude třeba započítat také nepřímé náklady spojené s výrobní činností, se správou a řízením podniku, dopravou, skladováním a tak podobně. Tato položka se obtížně stanovuje bez konkrétních informací o firmě, která se bude na výrobě podílet, jedná se tedy pouze o odhad.

1) Celkové režijní náklady N_R [Kč].

$$N_R = 40\,000 \text{ Kč} \quad (7.12)$$

• Celkové náklady

Náklady na celou výrobní sérii jsou stanoveny jako součet všech již vypočtených dílčích nákladů. Z této sumy se potom určí podle velikosti série náklady na jeden výstřik. Procentuální podíly jednotlivých nákladů, jsou zobrazeny v grafu na obr. 56. Největší položkou, jak je zřejmé je cena plastového granulátu, která činí 57 % z celkových nákladů.

1) Náklady na celou výrobní sérii N_C [Kč].

$$N_C = N_S + N_{CS} + N_D + N_F + N_R =$$

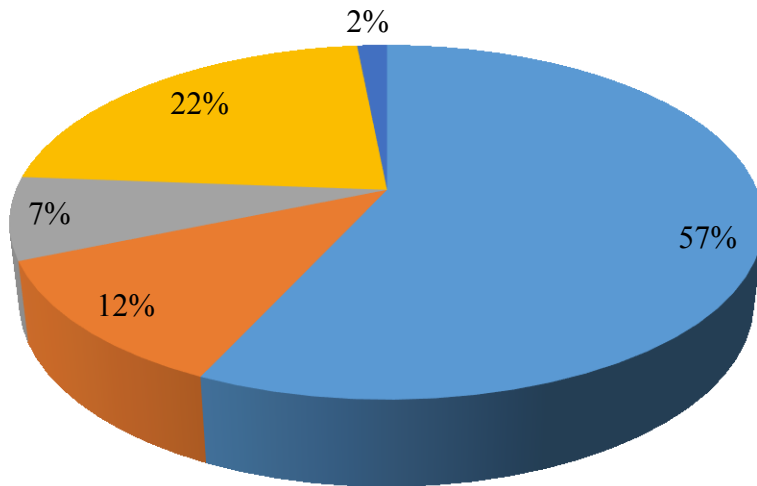
$$= 1\,490\,000 + 309\,904 + 196\,950 + 583\,456 + 40\,000 = 2\,620\,310 \text{ Kč} \quad (7.13)$$

2) Náklady na jeden dílec N_V [Kč].

$$N_V = \frac{N_C}{N} = \frac{2\,594\,448}{100\,000} = 26,2 \text{ Kč} \quad (7.14)$$

Procentuální podíly jednotlivých nákladů

- NS - náklady na plastový granulát ■ Ncs - náklady na stroj
- ND - náklady na mzdu obsluhy ■ NF - náklady na výrobu formy
- NR - náklady na režije



Obr. 56 Graf procentuálních podílů jednotlivých nákladů

- **Výpočet ceny dílce C [Kč].**

$$C = \frac{N_v \cdot N \cdot \left(1 + \frac{Z}{100}\right)}{N} \cdot \left(1 + \frac{Q}{100}\right) = \quad (7.15)$$

$$= \frac{26,2 \cdot 100\,000 \cdot \left(1 + \frac{25}{100}\right)}{100\,000} \cdot \left(1 + \frac{60}{100}\right) = 52,4 \text{ Kč}$$

Z...zisk [%]

Q...obchodní přírážka k ceně [%]

Podle vypočtených celkových nákladů, které jsou 2 620 310 Kč, a výsledné ceny dílce 52,4 Kč lze určit podílem těchto hodnot, objem výroby, při kterém dojde k navrácení investic. Tato situace nastane při výrobě 50 006 kusů. Výsledný zisk ze zadané výrobní série bude činit 20 % z celkové tržby, tedy dohromady 1 048 000 Kč.

7 ZÁVĚRY

Pro řešenou součást, kterou je kryt elektromotoru, byla zvolena výrobní technologie vstřikování plastů. Na základě požadavků kladených na mechanické vlastnosti a rozměrovou stabilitu dílce, byl vybrán materiál polyamid 66 plněný skelnými vlákny od firmy DuPont s obchodním označením Zytel 70G25HSL.

Výpočtem, vycházejícím z výrobní série 100 000 kusů bylo stanoveno, že navrhovaná forma bude jednonásobná. Konstrukci samotné vstřikovací formy, předcházelo ověření technologičnosti tvaru součásti a způsob zaformování. Jelikož se jedná o tvarově složitý výstřik, odpovídá tomu i návrh formy, kde muselo být použito více dělicích rovin a bylo třeba zvolit mechanismus pro pohyb bočních tvárnic. Uplatnění zde našly hydraulické válce od firmy Hasco, které umožnily řešení částečně zjednodušit.

Naplnění tvarové dutiny proběhne skrze studenou vtokovou soustavu do místa na výstřiku, které nebude vystaveno namáhání ani se nejedná o pohledovou část. Všechny systémy formy byly dimenzovány tak, aby co nejvíce usnadnily vyrobiteľnost, a mnoho komponent je nakupováno od výrobců normálií. Jako materiál k výrobě tvarových součástí se využije kvalitní nástrojová ocel 1.2343, vyznačující se vysokou pevností, prokalitelností a v žíhaném stavu dobrou obrobitelností.

Technologické parametry procesu se určily podle výpočtů a jejich znalost spolu s hlavními rozměry formy sloužily k výběru vhodného vstřikovacího stroje. Tím byl zvolen typ stroje Allrounder 520 S od firmy Arburg s uzavírací jednotkou schopnou vyvodit přidržovací sílu 1300 kN, která bude naprosto dostatečná, aby zabránila otevření formy.

V rámci ekonomického hodnocení byly určeny postupně náklady na jednotlivé fáze výroby a z jejich součtu se stanovila výsledná cena za jeden vyráběný kus, která činí 52,4 Kč. Největší složkou nákladů, která přesahuje 50% z celkových nákladů, je nákup plastového granulátu. Cena formy je nejvíce ovlivněna komplikovaným obráběním a také nákupem hydraulických válců, jejichž použití je zde však opodstatněné.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [4]

1. ARBURG. *Allrounder 520 S* [online]. 2014 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_AL LROUNDER_520S_TD_529082_en_GB.pdf
2. BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Liberec, 2014 [cit. 2015-05-26]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
3. BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 2014 [cit. 2015-04-22]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
4. CITACE. COM. *Vše o citování dokumentů a literatury* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.citace.com/>
5. DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-708-0617-6.
6. DUPONT. *Od konceptu k realizaci: Konstrukční plasty*. [cit. 2015-05-27].
7. DUPONT. *Thermoplastics Data* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://dupont.materialdatacenter.com/profiler/main/>
8. EUROTEC. *Engineering plastics* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.eurotec-ep.com/en>
9. GASTROW, Hans, E LINDNER a P UNGER. *Injection molds: 108 proven designs*. 2nd updated and rev. ed. with new mold designs /. New York: Hanser, 1993, ix, 249 p. ISBN 34-461-5682-8.
10. HASCO. *E-shop* [online]. 2015 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.hascoshop.com/hascoshop/general/action/setframes.php?nAction=10&lan=2>
11. Heat pipe. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2015 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_pipe
12. HOTTIP INDIA. *Hot runner system* [online]. 2012 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.hottipindia.com/>
13. HOVAD, J. *Návrh technologie výroby plastového krytu vrtačky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 65 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Bohumil Kandus.
14. JOISTEN, Siegfried. BAYER. *Technische Thermoplaste von Bayer: Produkte und Anwendungen*. Leverkusen, 1997, 94 s. [cit. 2015-05-27].
15. KANDUS, Bohumil. *Technologie zpracování plastů (HTZ): Přednášky a cvičení*. Obor technologie tváření kovů a plastů, Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství VUT Brno, 2012.
16. LENFELD, Petr. TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. *Plasty-obecně: Seminář*. 170 s. [cit. 2015-05-27]. Firemní školení.
17. MEGA MACHINERY. *Injection Moulding Machines* [online]. 2012 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.megamachinery.com/injection-moulding-machine/mg-series-injection-moulding-machines.html>
18. MEUSBURGER. *Formenbau Einbauteile* [online]. 2015 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://www.meusburger.com/fileadmin/user_upload/dateien/Kataloge/E-Teile%20Formenbau%202015/index.html#1

19. MLEZIVA, Josef. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 80-859-2072-7.
20. NESVADBA, Marek. *Konstrukce vstřikovací formy pro výrobek z termoplastu*. Zlín, 2007. Dostupné také z: <http://digilib.k.utb.cz/handle/10563/3806>. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Tomáš Drga.
21. PLASTICKER. *Market Report Plastics* [online]. 2015 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://plasticer.de/preise/marktbericht2_en.php?j=15&mt=1&quelle=bvse
22. POLDI. *Materiálové listy* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.poldi.cz/materialove-listy>
23. PRECIZ, S.R.O. *Převodník materiálů* [online]. 2012 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal>
24. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 978-80-7204-833-5.
25. SAECHTLING, a trad and ed. by John Haim and David HYATT. *International plastics handbook for the technologist, engineer, and user*. 3rd ed. Munich: Hanser, 1995. ISBN 34-461-8172-5.
26. SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2014 [cit. 2015-04-19]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
27. ŠVORČÍK, V. VŠCHT PRAHA. *Polymery "stručně"* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/ipl/osobni/svorcik/Polymery.pdf>
28. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
29. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Vstřikování plastů* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
30. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Vstřikovací formy - 3.temperační systém* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c6/TS.pdf
31. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Vstřikovací formy - vtoková soustava* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/7.pdf
32. TU V LIBERCI. *Produkce plastů* [online]. 2012 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c1/ZPL1.pdf
33. ZÁBOJNÍK, Vlastimil. *Využití Moldflow MPX při optimalizaci vstřikovacího cyklu*. Zlín, 2009. Dostupné také z: <http://digilib.k.utb.cz/handle/10563/9109>. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
34. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 246 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
35. ZHEJIANG KAIHUA MOULDS CO.,LTD. *Auto Part Mould Business Division* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.china-kaihua.com/enanei.asp?id=62>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Popis	Jednotka
A_D	Plocha průřezu tvarové dutiny do dělicí roviny	[cm ²]
a_{eff}	Střední tloušťka stěny výstřiku	[mm ² /s]
C	Cena dílce	[Kč]
C_E	Cena elektrické energie	[Kč/kWh]
C_m	Cena materiálu za 1kg	[Kč]
C_p	Plastikační kapacita	[kg·h ⁻¹]
C_S	Cena stroje	[Kč]
C_v	Vstřikovací kapacita	[cm ³]
d	Největší tloušťka stěny výstřiku	[mm]
d_1	Průměr ústí rozváděcího kanálu	[mm]
D_s	Optimální průměr šneku	[mm]
f_c	Délka dráhy toku taveniny	[mm]
F_p	Přidržovací síla	[kN]
F_u	Uzavírací síla	[kN]
F_v	Vyhazovací síla	[kN]
G	Hmotnost dílce	[g]
H_s	Počet pracovních hodin za rok	[hod]
K	Faktor využití pracovního času	[-]
K_f	Faktor schopnosti tečení	[bar/mm]
K_S	Koeficient opotřebení stroje	[Kč]
K_Z	Faktor zmetkovitosti	[-]
l_1	Šířka ústí	[mm]
L_s	Délka dráhy pohybu šneku	[mm]
M_K	Měnový kurz CZK/EUR	[Kč]
N	Velikost výrobní série	[ks]
n	Násobnost formy	[-]
N_{CS}	Celkové náklady na stroj	[Kč]
N_D	Náklady na mzdu operátora	[Kč]
N_F	Celkové náklady na výrobu formy	[Kč]
N_M	Náklady na materiál	[Kč]
N_{mat}	Náklady na materiál jednoho dílce	[Kč]
N_O	Odpisové náklady stroje	[Kč]
N_{OB}	Náklady na obrábění formy, konstrukci a montáž	[Kč]
N_{PC}	Náklady na provoz stroje po dobu výroby série	[Kč]
N_{PS}	Náklady na provoz stroje	[Kč]
N_R	Celkové režijní náklady	[Kč]
n_s	Otáčky šneku vstřikovacího stroje pro plastikaci	[min ⁻¹]
N_S	Náklady na materiál celé výrobní série	[Kč]
n_T	Termínová násobnost	[-]
N_V	Náklady na jeden dílec	[Kč]
p_A	Tvářecí tlak	[bar]
p_f	Minimální plnicí tlak	[bar]

P_S	Příkon stroje	[kW]
p_v	Vstřikovací tlak	[MPa]
Q	Obchodní přírážka k ceně	[Kč]
R	Poloměr přechodu z kanálu do talířového vtoku	[mm]
R_S	Odpisová doba stroje	[rok]
s	Střední tloušťka stěny výstřiku	[mm]
t_1	Tloušťka ústí	[mm]
t_2	Tloušťka talířového vtoku	[mm]
t_C	Doba vstřikovacího cyklu	[s]
t_d	Doba dotlaku	[s]
T_E	Teplota odformování	[°C]
T_f	Teplota viskózního toku	[°C]
T_F	Teplota formy	[°C]
T_g	Teplota skelného přechodu	[°C]
t_K	Doba chlazení	[s]
T_m	Teplota tání	[°C]
T_M	Teplota taveniny	[°C]
t_N	Vedlejší čas	[s]
t_{och}	Doba ochlazování	[s]
t_S	Doba výroby celé série	[hod]
t_V	Doba vstřikování	[s]
T_z	Teplota tepelné degradace	[°C]
V	Objem vstřikovaného dílce	[cm ³]
v	Maximální obvodová rychlost šneku	[m/s]
V_D	Vstřikovaný objem taveniny	[cm ³]
v_s	Vstřikovací rychlost	[cm ³ /s]
V_{vtok}	Objem vtokové soustavy	[cm ³]
Z	Zisk	[%]
ρ	Hustota	[g/cm ³]
ρ_a	Hustota amorfni	[g/cm ³]
ρ_k	Hustota krystalická	[g/cm ³]
τ_p	Požadovaný termín splnění dodávky	[hod]

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1** Materiálový list Zytel 70G25HSL (PA66)
Příloha 2 Materiálové hodnoty pro PA66 GF od výrobce BASF
Příloha 3 Obecné materiálové hodnoty pro PA 66
Příloha 4 Specifikace stroje Allrounder 520 S

Výkresová dokumentace:

VÝKRES SESTAVY	DP-126558-15-01
KUSOVNÍK	DP-126558-15-00
VELKÝ TVÁRNÍK	DP-126558-15-02
MALÝ TVÁRNÍK	DP-126558-15-03
TVÁRNICE (pravá)	DP-126558-15-04

PRODUCT INFORMATION

DuPont™ Zytel® 70G25HSL NC010

NYLON RESIN

Product Information

Common features of Zytel® nylon resin include mechanical and physical properties such as high mechanical strength, excellent balance of stiffness and toughness, good high temperature performance, good electrical and flammability properties, good abrasion and chemical resistance. In addition, Zytel® nylon resins are available in different modified and reinforced grades to create a wide range of products with tailored properties for specific processes and end-uses. Zytel® nylon resin, including most flame retardant grades, offer the ability to be coloured.

The good melt stability of Zytel® nylon resin normally enables the recycling of properly handled production waste. If recycling is not possible, DuPont recommends, as the preferred option, incineration with energy recovery (>31kJ/g of base polymer) in appropriately equipped installations. For disposal, local regulations have to be observed.

Zytel® nylon resin typically is used in demanding applications in the automotive, furniture, domestic appliances, sporting goods and construction industry.

Zytel® 70G25HSL is a 25% glass fibre reinforced, heat stabilised polyamide 66 resin for injection moulding.

General information	Value	Unit	Test Standard
Resin Identification	PA66-GF25	-	ISO 1043
Part/Marking Code	>PA66-GF25<	-	ISO 11469
Rheological properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Viscosity number	140 / *	cm ³ /g	ISO 307, 1157, 1628
Moulding shrinkage, parallel	0.3 / *	%	ISO 294-4, 2577
Moulding shrinkage, normal	1.1 / *	%	ISO 294-4, 2577
Mechanical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	8600 / 6100	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	188 / 115	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	3.1 / 5	%	ISO 527-1/-2
Tensile creep modulus			ISO 899-1
1h	* / 5000	MPa	
1000h	* / 4100	MPa	
Charpy impact strength			ISO 179/1eU
23°C	65 / 85	kJ/m ²	
-30°C	53 / 47	kJ/m ²	
Charpy notched impact strength			ISO 179/1eA
23°C	10 / 12	kJ/m ²	
-30°C	10 / 11	kJ/m ²	
Izod notched impact strength			ISO 180/1A
23°C	10 / 11	kJ/m ²	
-30°C	8 / 8	kJ/m ²	
Ball indentation hardness, H 961/30	260 / -	MPa	ISO 2039-1
Hardness, Rockwell, M-scale	103 / 87	-	ISO 2039-2
Hardness, Rockwell, R-scale	123 / 116	-	ISO 2039-2
Thermal properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melting temperature, 10°C/min	263 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Glass transition temperature, 10°C/min	80 / -	°C	ISO 11357-1/-2
Temp. of deflection under load			ISO 75-1/-2
1.8 MPa	245 / *	°C	
0.45 MPa	263 / *	°C	
Vicat softening temperature, 50°C/h, 50N	255 / *	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion, parallel	33 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, normal	112 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Thermal conductivity of melt	0.21	W/(m K)	-
Spec. heat capacity of melt	2090	J/(kg K)	-
RTI, electrical			UL 746B
0.75 mm	140 / *	°C	
1.5mm	140 / *	°C	
3mm	140	°C	

Revised: 2015-01-30

Page: 1 of 9

To find out more, visit **DuPont Performance Polymers** or contact nearest DuPont location.

North America

Tel: +1 302 999-4592

Toll-Free (USA): 800 441-0575

Asia Pacific

Tel: +81 3 5521 8600

Europe/Middle East/Africa

Tel: +41 22 717 51 11



Copyright 2014 DuPont. The DuPont Oval Logo is a trademark or registered trademark of E. I. du Pont de Nemours and Company or its affiliates. All rights reserved.

DuPont™ Zytel® 70G25HSL NC010

NYLON RESIN

RTI, impact			UL 746B
0.75 mm	125	°C	
1.5mm	125 / *	°C	
3mm	125	°C	
RTI, strength			UL 746B
0.75 mm	140	°C	
1.5mm	140 / *	°C	
3mm	140	°C	
Flammability	dry / cond	Unit	Test Standard
Burning Behav. at 1.5mm nom. thickn.	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	1.5 / *	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL / *	-	UL 94
Burning Behav. at thickness h	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	0.71 / *	mm	IEC 60695-11-10
Flammability, 3.0mm	HB / *	-	IEC 60695-11-10
Burning rate, Thickness 1 mm	18 ^[1]	mm/min	ISO 3795 (FMVSS 302)
1: SE/B			
Electrical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Relative permittivity, 1MHz	4.1 / 4.5	-	IEC 60250
Dissipation factor, 1MHz	150 / 730	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	>1E13 / 1E9	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	* / 1E13	Ohm	IEC 60093
Comparative tracking index	400 / -	-	IEC 60112
Other properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Humidity absorption, 2mm	2 / *	%	Sim. to ISO 62
Water absorption, 2mm	6.4 / *	%	Sim. to ISO 62
Density	1330 / -	kg/m³	ISO 1183
Injection	dry / cond	Unit	Test Standard
Drying Recommended	yes	-	-
Drying Temperature	80	°C	-
Drying Time, Dehumidified Dryer	2 - 4	h	-
Processing Moisture Content	≤0.2	%	-
Melt Temperature Optimum	295	°C	-
Min. melt temperature	285	°C	-
Max. melt temperature	305	°C	-
Max. screw tangential speed	0.2 / *	m/s	-
Mold Temperature Optimum	100	°C	-
Min. mould temperature	70	°C	-
Max. mould temperature	120	°C	-
Hold pressure range	50 - 100	MPa	-
Hold pressure time	3	s/mm	-
Ejection temperature	210	°C	-
Characteristics			
Processing	• Injection Moulding		
Delivery form	• Pellets		
Additives	• Lubricants	• Release agent	
Special characteristics	• Heat stabilised or stable to heat		
Regional Availability	• Europe	• Near East/Africa	

Revised: 2015-01-30

Page: 2 of 9

To find out more, visit [DuPont Performance Polymers](#) or contact nearest DuPont location.**North America**

Tel: +1 302 999-4592

Toll-Free (USA): 800 441-0575

Asia Pacific

Tel: +81 3 5521 8600

Europe/Middle East/Africa

Tel: +41 22 717 51 11

Copyright 2014 DuPont. The DuPont Oval Logo is a trademark or registered trademark of E.I. du Pont de Nemours and Company or its affiliates. All rights reserved.



Materiálové hodnoty vybraných technických plastů

	Jednotka	9	10	11	12	13	14	15	16
Zkratka plastu		PA6 GF	PA66	PA66 GF	PC	PC GF	PBT	PBT GF	PET GF
Výrobce		BASF	BASF	BASF	GE	GE	BAYER	BAYER	DUPONT
Obchodní název		Ultramid	Ultramid	Ultramid	Lexan	Lexan	Pocan	Pocan	Rynite
Typ		B 3 WG7	A 3K	A 3 WG7	101	3413 R	B 1505	B 4235	530 NC-10
Plnivo a jeho podíl	%	35 GF	–	35 GF	–	30 GF	–	30 GF	30 GF
Struktura		K	K	K	A	A	K	K	K
Hustota při 23 °C	g/cm ³	1,41	1,13	1,41	1,2	1,44	1,3	1,65	1,56
Teplota měknutí dle Vicata	°C	220	250	250	144	147	180	210	228
Viskozita při smyk. rychlosti 1000 s ⁻¹	Pa.s	130	105	124	576	421	414	382	168
a při teplotě materiálu (taveniny)	°C	280	290	290	300	300	250	250	280
Faktor schopnosti tečení	K _f	1,7	1,5	1,7	5,2	4,0	3,9	3,7	2,0
Koeficient rovnice dráhy toku	m	120	130	120	40	50	50	50	100
Exponent rovnice dráhy toku	n	1,75	1,79	1,77	1,70	1,76	1,82	1,87	1,76
Teplota materiálu (taveniny)	T _M	270 – 290	280 – 300	280 – 300	290 – 320	290 – 320	250 – 270	250 – 270	280 – 300
Teplota formy	T _F	80 – 90	40 – 80	80 – 90	80 – 120	80 – 120	40 – 80	40 – 80	80 – 120
Teplota odformování	T _E	100	120	120	130	130	120	120	140
Max. obvodová rychlost šneku	v	0,15	0,25	0,15	0,25	0,15	0,25	0,15	0,15
Faktor navýšení objemu taveniny	K _a	1,22	0,97	1,23	1,03	1,25	1,11	1,44	1,36
Efektivní teplotní vodivost	a _{eff}	0,088	0,083	0,088	0,11	0,11	0,09	0,123	0,132
Rozdíl entalpií	Δh	550	550	550	350	350	370	370	440
Smršnění nebo ⊥ ke směru tečení	%	0,25 / 0,75	1,0 / 1,2	0,25 / 0,65	0,5 / 0,7	0,1 / 0,4	1,9 / 1,9	0,3 / 1,2	0,2 / 0,9
Absorpce vlhkosti	%	2	2,8	1,6	0,15	0,11	0,2	0,1	0,2
Teplota předsušení granulátu	°C	80	80	80	120 – 130	120 – 130	120	120	120
Doba předsušení granulátu	h	5 – 10	5 – 10	5 – 10	2 – 4	2 – 4	2 – 3	2 – 3	4

Materiálové hodnoty

Materiál zkr.	Hustota [g/cm ³]	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]	Teplota odformov. [°C]	Vstřikov. tlak [bar]	Dotlak [bar]	Zpětný tlak [bar]	Tvářecí tlak [bar]	Měrná teplotní vodivost [mm ² /s]	Smrštění II [%]	Smrštění I [%]
PE-HD	k 0,95	250-300	20-60	40-75	600-1350	300-800	60-90	200-600	0,078	1,4-2,5	1,2-2,2
PE-LD	k 0,92	210-250	20-40	30-65	600-1350	300-800	40-80	200-600	0,087	1,8-3,5	1,8-3,0
PP	k 0,91	220-290	20-60	45-80	800-1400	500-1000	60-90	300-650	0,067	1,5-2,5	1,5-2,5
PS	a 1,05	160-230	20-70	20-60	650-1550	350-800	40-80	150-350	0,086	0,2-0,6	0,2-0,6
SB	a 1,05	160-250	30-70	20-65	650-1550	350-900	40-80	200-400		0,5-0,6	0,5-0,6
SAN	a 1,08	200-260	40-80	35-85	650-1550	350-900	40-80	250-450	0,086	0,4-0,6	0,4-0,6
ABS	a 1,06	180-260	50-85	35-90	650-1550	400-900	40-80	300-550	0,084	0,4-0,8	0,4-0,8
PMMA	a 1,18	220-250	60-90	50-110	950-1400	500-1150	80-120	350-550	0,074	0,2-0,8	0,2-0,8
PVC-U	a 1,38	160-180	20-60	45-100	950-1550	500-900	40-80	250-500	0,073	0,7-1,2	0,7-1,2
PVC-P	a 1,28	150-170	20-50	25-55	400-1550	300-600	40-80	150-300	0,072	0,8-3,5	0,8-3,5
PA 6	k 1,14	230-260	40-100	50-110	450-1550	400-900	40-80	350-550	0,089	0,6-2,1	1,0-2,2
PA 66	k 1,15	270-295	50-120	75-150	650-1550	500-1050	40-80	450-750	0,089	1,2-1,9	1,2-2,2
PA 610	k 1,06	220-260	40-100	40-85	450-1550	350-900	40-80	300-500	0,089	0,8-2,0	1,2-2,5
PA 11	k 1,04	200-250	40-100	60-130	450-1550	400-900	40-80	350-550	0,089	0,8-1,4	1,2-2,0
PA 12	k 1,02	200-250	40-100	40-100	550-1550	450-1000	60-90	350-550	0,089	0,8-1,4	1,2-2,0
POM	k 1,42	185-215	80-120	60-130	800-2000	600-1300	40-80	550-1050	0,059	1,6-2,2	2,2-2,6
PC	a 1,20	290-320	70-120	60-130	950-1600	600-1300	80-120	350-650	0,112	0,6-0,8	0,6-0,8
PPO	a 1,06	245-290	70-110	65-110	950-1600	600-1200	60-90	350-600		0,5-0,8	0,5-0,8
PET	k 1,37	260-280	50-140	75-150	800-1500	550-1100	70-110	450-750	0,097	0,5-2,0	0,5-2,0
PBT	k 1,30	230-270	40-80	60-120	800-1500	500-1000	60-100	400-700	0,089	1,7-2,3	1,7-2,3
PPS	k 1,36	300-360	20-200	120-190	750-1500	400-750	40-80	350-650		0,2-0,4	0,8-1,0
PSU	a 1,24	320-390	100-160	100-190	900-1400	500-1100	80-120	400-600		0,5-0,9	0,5-0,9
PEI	a 1,27	340-425	100-175	135-190	750-1500	400-750	40-80	350-650		0,1-0,4	0,3-0,6
CA	a 1,28	185-225	40-60	35-80	650-1350	350-800	40-80	250-450	0,085	0,3-0,6	0,3-0,6

Technical data

520 S

Clamping unit		520 S		
with clamping force	max. kN	1300	1500	1600
Opening force stroke	max. kN mm	365 575		
Mould height, fixed variable	min. mm	250 ---		
Platen daylight fixed variable	max. mm	825 ---		
Distance between tie bars (w x h)	mm	520 x 520		
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	695 x 695		
Weight of movable mould half	max. kg	1050		
Ejector force stroke	max. kN mm	50 175		
Dry cycle time EUROMAP 2	1 pump	min. s - 364		
	2 pumps	min. s - 364		
	Accum.	min. s - 364		

Injection unit		290			400			800		
with screw diameter	mm	30	35	40	35	40	45	45	50	55
Effective screw length	L/D	23,3	20	17,5	23	20	18	22	20	18
Screw stroke	max. mm	150			160			200		
Calculated stroke volume	max. cm ³	106	144	188	154	201	254	318	392	474
Shot weight	max. g PS	97	132	172	141	184	232	291	359	434
Material throughput	max. kg/h PS	17	20,5	24,5	25	29	35	46	53	59
	max. kg/h PA6.6	8,5	10,5	12,5	12,5	15	17,5	23	27	30
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1530	2500	2000	1580	2470	2000	1650
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1530	2500	2000	1580	2470	2000	1650
Injection flow 2	1 pump	max. cm ³ /s	130	178	232	128	168	212	174	214
	2 pumps	max. cm ³ /s	130	178	232	128 160	168 210	212 266	174	214
	Accum.	max. cm ³ /s	316	430	562	492	642	814	530	656
Screw circumferential speed 2	1 pump	max. m/min	51	60	69	47	53	60	54	60
	2 pumps	max. m/min	51	60	69	47 53	53 60	60 68	54	60
	Accum.	max. m/min	20	24	27	16	18	21	15	17
Screw torque	max. Nm	320	380	430	480	550	610	880		
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	60 240			60 300			70 400		
Heating capacity zones	kW	6,4 5			9,4 5			19,9 8		
Feed hopper	l	50			50			50		

Drive and connection		1 pump			2 pumps			Accum.		
with injection unit		290	400	800	290	400	800	290	400	800
Net weight of machine	kg	5600	5900	6350	5600	5900	6350	---		
Emiss. sound press. level DIN EN 201:1997	dB(A)	70 +3			70 +3			70 +3		
Oil filling	l	175			240			240		
Drive power 2	max. kW	22	22	30	30			22	22	30
Electrical connection 3	Total	31	34	52	39	42	52	31	33	52
	Machine	80	80	100	100	100	125	80	80	125
	Heating	63	63	80	80	80	80	63	63	80
Cooling water connection	max. °C	25			25			30		
	min. Δp bar	1,5 DN 25			1,5 DN 25			1,5 DN 25		

Machine type	
with EUROMAP size designation 1	Drive
520 S 1300-290 400	1 2 Accum.
520 S 1500-290 400 800	1 2 Accum.
520 S 1600-290 400 800	- 2 Accum.

Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

- 1) Clamping force (kN) - large injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar).
 - 2) Specifications depend on drive configuration – the first value applies to lower clamping forces.
 - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
- [] Specifications apply to alternative equipment.